

PEMULIHAN KONDISI
TANAH
ULISOL

DR. KAHARUDDIN, SP., MP.
Ir. DAHLAN, MM.



PEMULIHAN KONDISI STRUKTUR TANAH ULTISOL

Dr. Kaharuddin, SP., MP.

Ir. Dahlan, MM.

PEMULIHAN KONDISI STRUKTUR TANAH ULTISOL

Penulis:

Dr. Kaharuddin, SP., MP.
Ir. Dahlan, MM.

ISBN:

978-623-5275-61-1

Editor:

Wulansari Apriani

Desain Sampul dan Tata Letak:

Tim BPPD APWI

Penerbit:

ASOSIASI PROFESI WIDYAISWARA INDONESIA
IKAPI: Nomor Anggota 599/Anggota Luar Biasa/DKI/2021

Redaksi:

Gedung Atmodarminto, BPPK Kementerian Keuangan
Jl. Purnawarman No.99, Kebayoran Baru, Jakarta Selatan.

Email : bppdapwi@gmail.com

Website : <https://www.bppdapwi.com>

Whatsapp : 083840572182

Cetakan pertama, September 2023

Hak cipta dilindungi Undang Undang

Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk dan cara apapun tanpa ijin tertulis dari penerbit sesuai Undang-undang No. 28 Tahun 2014 Tentang Hak Cipta Pasal 113.

PRAKATA

Puji dan syukur ke hadirat Allah SWT karena atas rahmat-Nya, penulisan buku ini dapat diselesaikan. Penulisan buku ini dilatarbelakangi oleh usaha pemulihan kondisi struktur tanah yang terdegradasi oleh urea melalui kegiatan budidaya tanaman. Dengan penanaman tomat yang disertai dengan pengaturan kadar (regim) air tanah diharapkan dapat meningkatkan proses reagregasi dan kondisi struktur tanah menjadi pulih kembali.

Buku ini diharapkan dapat berguna bagi akademisi, mahasiswa pertanian, penyuluh pertanian, dan praktisi yang bergerak dalam bidang pertanian, sehingga dengan membaca buku ini, diharapkan memperoleh informasi sebagai bahan acuan dalam menjaga dan meningkatkan produktivitas tanah ultisol yang terdegradasi akibat kegiatan budidaya tanaman yang sangat intensif.

Buku ini terdiri atas 7 Bab, yaitu: 1. Pendahuluan, 2. Stabilitas Agregat dan Struktur Tanah, 3. Dispersi dan Flokulasi, 4. Hubungan Dispersi dan Flokulasi dengan Kualitas Struktur Tanah, 5. Regenerasi Struktur Tanah, 6. Peningkatan Kualitas Struktur Tanah, dan 7. Penutup.

Keunggulan dari buku ini adalah menguraikan secara detail dengan menggunakan bahasa yang mudah dipahami tentang permasalahan struktur tanah yang rusak akibat penggunaan urea yang berlebihan dan solusi perbaikan struktur tanah melalui budidaya tomat.

Semoga buku ini bermanfaat, khususnya dalam upaya pemulihan kondisi struktur tanah dan peningkatan produktivitas tanah.

Makassar, September 2023

Penulis

DAFTAR ISI

PRAKATA.....	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR TABEL.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	vii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
BAB 2 STABILITAS AGREGAT DAN STRUKTUR TANAH.....	3
A. Stabilitas Agregat Tanah.....	3
B. Stabilitas Struktur Tanah.....	7
BAB 3 DISPERSI DAN FLOKULASI.....	11
A. Dispersi.....	11
B. Flokulasi.....	14
BAB 4 HUBUNGAN DISPERSI DAN FLOKULASI DENGAN KUALITAS STRUKTUR TANAH.....	17
A. Distribusi Ukuran Patikel (DUP) dan Retensi Air.....	19
B. Pori Terisi Udara dan Ketersediaan Air.....	20
BAB 5 REGENERASI STRUKTUR TANAH.....	23
BAB 6 PENINGKATAN KUALITAS STRUKTUR TANAH.....	27
A. Rangkaian Percobaan.....	27
B. Pengamatan Perubahan Struktur Tanah.....	32
1. Konduktivitas hidrolik.....	33
2. Retensi air tanah.....	38
3. Distribusi ukuran pori.....	44
4. Resistensi pengaliran udara.....	49
5. Distribusi ukuran agregat.....	54
6. Bulk density.....	61

7. Efektivitas sistem perakaran, pengendalian regim air, dan pemupukan dengan ZA dalam proses reagregasi.....	64
BAB 7 PENUTUP	69
DAFTAR PUSTAKA	71
PROFIL PENULIS	79

DAFTAR TABEL

Tabel 6.1. Jumlah air yang ditambahkan ke dalam tanah untuk mencapai potensial matriks sekitar -5 dan -5 sampai -100 kPa	31
Tabel 6.2. Parameter pengamatan perubahan struktur tanah yang diamati pada Percobaan 1 dan 2	33

DAFTAR GAMBAR

- Gambar 2.1. Hirarki penyusunan elemen-elemen struktur tanah..... 4
- Gambar 2.2. Kemungkinan susunan bahan organik, domain liat, dan kwarsa membentuk satu butir tanah (Stevenson, 1982) 6
- Gambar 4.1. Perubahan volume udara, air, dan padatan tanah lempung berpasir pada berbagai nilai potensial matriks akibat peningkatan bulk density (Eavis, 1973)..... 19
- Gambar 4.2. Klasifikasi kualitas struktur tanah pada lapisan olah (Hall et al., 1977) 21
- Gambar 6.1. Pengukuran konduktivitas hidrolik jenuh dengan sistem siphon (Gusli, 1995b) 34
- Gambar 6.2. Pengaruh pemberian urea dan amonium sulfat serta pengendalian regim air terhadap konduktivitas hidrolik (K_s), yang diamati pada: (a) Daerah perakaran dalam radius < 4 cm dari batang dan (b) Daerah perakaran dalam radius antara 4 sampai 10 cm dari batang. 36
- Gambar 6.3. Pengukuran retensi air dengan metode *hanging water column* 39
- Gambar 6.4. Pengaruh pemberian urea dan amonium sulfat serta pengendalian regim air terhadap retensi air tanah (RAT), yang diamati pada: (a) Percobaan 1, (b) Regim air pada $\psi_m \pm -5$ kPa serta ditanami tomat, dan (c) Regim air pada $\psi_m -5$ sampai -100 kPa serta ditanami tomat..... 41
- Gambar 6.5. Pengaruh pemberian urea dan amonium sulfat serta pengendalian regim air terhadap proporsi pori

kumulatif (PPK), yang diamati pada: (a) Percobaan 1, (b) Regim air pada $\psi_m \pm -5$ kPa serta ditanami tomat, dan (c) Regim air pada $\psi_m -5$ sampai -100 kPa serta ditanami tomat.....46

Gambar 6.6. Alat pengukuran resistensi pengaliran udara.....49

Gambar 6.7. Pengaruh pemberian urea dan amonium sulfat serta pengendalian regim air terhadap resistensi pengaliran udara (RPU), yang diamati pada sampel dengan regim air: (a) $\psi_m -5$ kPa dan (b) $\psi_m -20$ kPa.51

Gambar 6.8. Pengaruh pemberian urea dan amonium sulfat serta pengendalian regim air terhadap proporsi agregat kumulatif (PAK), yang diamati pada: (a) Percobaan 1, (b) Regim air pada $\psi_m \pm -5$ kPa serta ditanami tomat, dan (c) Regim air pada $\psi_m -5$ sampai -100 kPa serta ditanami tomat.....56

Gambar 6.9. Pengaruh pemberian urea dan amonium sulfat serta pengendalian regim air terhadap bulk density (BD), yang diamati pada: (a) Daerah perakaran dalam radius < 4 cm dari batang dan (b) Daerah perakaran dalam radius antara 4 sampai 10 cm dari batang.....62

BAB 1

PENDAHULUAN

Struktur tanah merupakan salah satu sifat fisik tanah yang mempunyai peranan yang sangat penting, karena menentukan ketersediaan air, translokasi air dan udara dalam tanah serta berperan dalam hal perkecambahan biji dan mempengaruhi perkembangan akar tanaman di dalam tanah. Struktur tanah bersifat dinamik dan berubah-ubah yang diakibatkan oleh perubahan-perubahan lingkungan alamiah, aktivitas biologi, pengolahan tanah, pengelolaan, dan sistem budidaya tanaman (Letey, 1985).

Penggunaan pupuk urea dalam praktik budidaya tanaman terbukti dapat merusak struktur tanah akibat efek dispersif yang ditimbulkannya, walaupun manfaatnya dalam peningkatan produksi pangan tidak dapat disangkal (Cass et al., 1994; Hainun, 1997; Suryani, 1999; Saifuddin, 2001). Masalah ini sangat penting, karena pemanfaatan pupuk urea sebagai sumber nitrogen dari tahun ke tahun meningkat dibandingkan pupuk nitrogen lain (Follet et al., 1981).

Walaupun pengaruh dispersif urea yang diekspresikan dalam bentuk degradasi struktur tanah hanya bersifat sementara, tetapi jika penggunaannya kontinu dan berlebihan, tetap akan mengakibatkan degradasi struktur tanah yang lebih kompleks dan semakin susah untuk dipulihkan. Berdasarkan sifat dispersif urea dan sifat dinamik dari struktur tanah tersebut, maka proses pemulihan kondisi struktur

tanah yang terdegradasi oleh urea melalui budidaya tanaman, menjadi menarik untuk dikaji lebih mendalam.

Upaya peningkatan produksi pertanian melalui pemupukan mendorong meningkatnya penggunaan pupuk buatan termasuk urea. Penggunaan urea yang berlebihan (takaran tinggi dalam waktu lama), berpotensi mengurangi pendapatan petani, dan dapat menimbulkan dampak negatif terhadap tanah dan lingkungan.

Urea sebagai sumber nitrogen yang umum digunakan petani, merupakan pupuk yang dapat merusak kondisi fisik tanah, yang berakibat pada degradasi struktur tanah. Walaupun pengaruh dispersif urea hanya bersifat sementara, tetapi jika penggunaannya kontinu dan berlebihan, tetap merupakan ancaman yang serius dalam upaya pemulihan struktur tanah. Menurunnya kualitas struktur tanah tersebut, akan menurunkan produktivitas tanah dan produksi tanaman.

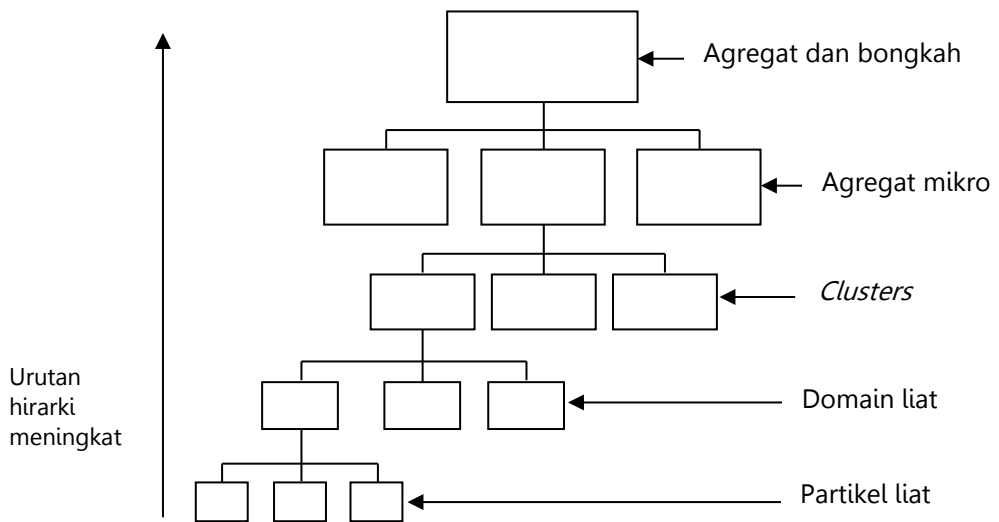
Sampai saat ini, studi menyangkut urea masih terbatas pada sifat dispersibilitasnya, sedangkan upaya pemulihan kondisi struktur tanah yang terdegradasi oleh urea, khususnya melalui budidaya tanaman kurang mendapat perhatian. Atas dasar itu, maka kajian untuk mengetahui seberapa jauh kondisi struktur tanah yang terdegradasi oleh urea dapat dipulihkan melalui budidaya tanaman tomat dan pengaturan regim air, akan dibahas secara detail dalam buku ini.

A. Stabilitas Agregat Tanah

Agregat tanah didefinisikan sebagai suatu unit dari struktur tanah yang umumnya terbentuk melalui proses yang alami dibandingkan dengan proses yang *artifisial*, dan umumnya mempunyai diameter < 10 mm (SSSA, 1987). Oades (1984), Tisdall (1991), Dexter (1988), dan Rengasamy et al. (1984) mengelompokkan agregat berdasarkan ukuran menjadi dua bagian, yaitu mikroagregat dengan ukuran < 250 μm dan makroagregat dengan ukuran > 250 μm .

Stabilitas agregat tanah adalah ketahanan agregat tanah terhadap daya penghancuran yang diakibatkan oleh air dan manipulasi mekanik, misalnya pengolahan tanah (Baver et al., 1972). Tanah dengan agregat yang tidak stabil mempunyai struktur yang peka terhadap daya rusak air (*slaking* dan dispersi) dan manipulasi mekanik atau kombinasinya (misalnya pengompakan).

Agregat tanah terbentuk dari hasil pengelompokan sejumlah butir-butir primer tanah tersusun secara hirarki. Susunan hirarki ini penting di dalam menjelaskan stabilitas agregat. Bila terjadi dispersi, maka yang terpengaruh adalah susunan hirarki yang paling bawah (partikel liat), sehingga seluruh agregat akan hancur. Tetapi, bila penghancuran agregat pada susunan hirarki bagian atas (misalnya, karena pengaruh pengolahan tanah dan *slaking*), maka hirarki bagian bawah tidak terpengaruh (Gambar 2.1).



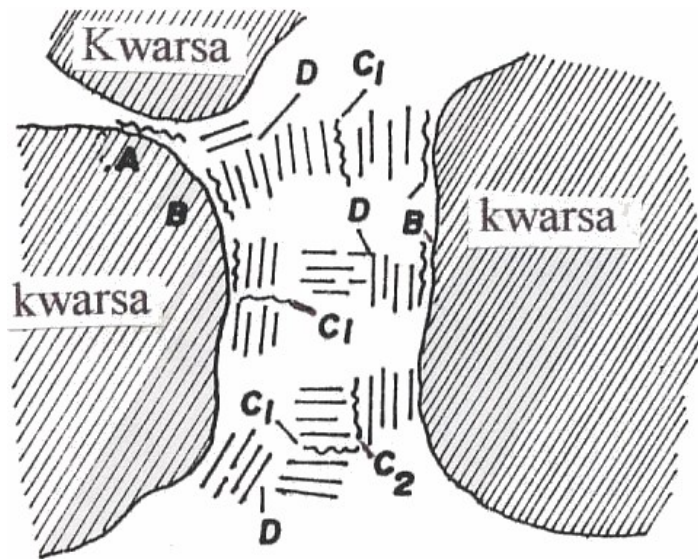
Gambar 2.1 Hirarki penyusunan elemen-elemen struktur tanah (Dexter, 1988)

Stevenson (1982) menyebutkan beberapa hal yang mempengaruhi terbentuknya agregat yang stabil, yaitu: (i) jenis dan jumlah bahan organik dalam tanah, khususnya *gums* dan *mucilages*, (ii) keberadaan hifa fungi dan akar-akar tanaman mikroskopik, (iii) pembasahan dan pengeringan, (iv) pembekuan dan pencairan, (v) ciri/sifat-sifat dari kation pada tempat pertukaran, dan (vi) aksi dari penggalian hewan tanah, khususnya cacing tanah.

Marshall dan Holmes (1979) merinci dua faktor utama dalam pembentukan agregat, yaitu agen biologis (*mycellium* dan cendawan) dan agen fisika. Akar tanaman sebagai agen biologis mempunyai pengaruh yang besar terhadap kestabilan agregat, di mana hasil dekomposisi akar tanaman dan bahan organik oleh mikroorganisme

dapat bertindak sebagai pengikat agregat. Selain itu, aktivitas cacing tanah dapat juga menghasilkan kondisi struktur tanah yang lebih stabil. Selanjutnya, agen fisika berfungsi jika terjadi retakan pada agregat pada permukaan tanah. Bila terjadi aliran permukaan pada retakan agregat, maka liat dan material lain dapat diendapkan di selah retakan tersebut. Proses ini dapat menciptakan kondisi struktur tanah yang stabil jika terjadi secara terus menerus.

Menurut teori pembentukan agregat (domain liat) Emerson (Stevenson, 1982), butiran (*crumbs*) terbentuk dari unit-unit liat berbentuk koloid atau domain, dan partikel-partikel kasar dari debu dan pasir yang diikat bersama oleh humus. Satu domain didefinisikan sebagai satu gugus dari kristal liat yang memungkinkan kation-kation yang dapat dipertukarkan terorientasi membentuk satu gugusan tunggal dalam air. Model Emerson dari satu butir tanah ditunjukkan pada Gambar 2.2. Kemungkinan bentuk ikatan ditunjukkan sebagai berikut: (A) kwarsa - bahan organik - kwarsa, (B) kwarsa - bahan organik - domain liat, (C) domain liat - bahan organik - domain liat (bahan organik terletak antara permukaan dari dua domain liat, antara dua tepi, dan antara satu tepi dan satu permukaan), (D) domain liat - domain liat, tepi - permukaan (Stevenson, 1982).



Gambar 2.2 Kemungkinan susunan bahan organik, domain liat, dan kwarsa membentuk satu butir tanah (Stevenson, 1982)
 Ket: A = kwarsa – bahan organik – kwarsa, B = Kwarsa – bahan organik – domain liat, C = domain liat - bahan organik – domain liat (C₁ = muka – muka, C₂ = tepi – tepi, C₃ = tepi – muka), dan D = domain liat – domain liat, tepi – muka.

Berdasarkan Gambar 2.2 terlihat bahwa bahan organik mengstabilkan agregat tanah melalui ikatan-ikatan dengan domain liat (C₁, C₂, C₃) ataupun dengan kwarsa (A, B). Beberapa mekanisme yang terlibat dalam adsorpsi senyawa organik oleh mineral liat yang paling utama adalah: (i) adsorpsi fisik oleh gaya *van der Waals*, (ii) atraksi elektrostatik atau adsorpsi kimia, (iii) ikatan hidrogen, dan (iv) kompleks koordinat (Stevenson, 1982).

B. Stabilitas Struktur Tanah

Struktur tanah dapat digambarkan dari dua sisi yang berbeda, yaitu berdasarkan bentuknya dan stabilitasnya. Dari segi bentuknya, struktur tanah adalah susunan bahan padat dan ruang pori dalam tanah, yaitu kombinasi atau susunan partikel tanah primer ke dalam unit partikel sekunder atau *ped* (SSSA, 1987), dan total porositas, distribusi ukuran pori, dan kontinuitas sistem pori (Hamblin, 1985). Dari segi stabilitasnya, stabilitas struktur tanah adalah kemampuan tanah mempertahankan susunannya (bahan padat dan ruang pori) dari gaya-gaya atau tekanan yang berbeda (Hamblin, 1985; Kay, 1990).

Ketahanan bentuk struktur tanah dapat dilihat pada skala ukuran struktur tanah yang berbeda. Pada skala yang lebih kecil seperti mikroagregat dan mikropori, keberadaannya sangat stabil (Tisdall dan Oades, 1982; Gregorich et al., 1988 *dikutip oleh* Kay, 1990), dan menurut Coughlan et al. (1973), Katou et al. (1987) *dikutip oleh* Kay, (1990) bahwa stabilitas menurun dengan meningkatnya skala struktur tanah. Pada skala besar, praktek pengelolaan pertanian mempunyai pengaruh yang sangat besar terhadap stabilitas struktur (Tisdall dan Oades, 1980) dan makropori, walaupun menurut Gibbs dan Reid (1988 *dikutip oleh* Kay, 1990) bahwa stabilitas makropori informasinya sangat sedikit.

Bahan organik memainkan peranan yang besar dalam stabilisasi struktur pada permukaan tanah. Perubahan struktur tanah dapat terjadi sebagai akibat dari fluktuasi bahan organik pengstabil (Perfect et al., 1990). Fluktuasi atau laju dan arah perubahan dan kandungan bahan organik bervariasi menurut praktek pertanian, kandungan bahan organik awal, dan iklim (Johnston, 1986, Man, 1986 *dikutip oleh*

Kay, 1990). Perubahan kandungan bahan organik yang sangat kecil dapat mengakibatkan perubahan stabilitas struktur tanah yang drastis (Buldock dan Kay, 1987 *dikutip oleh* Kay, 1990).

Menurut Grant (1989 *dikutip oleh* Kay, 1990), bahwa bahan organik memberikan kontribusi secara langsung sebagai bahan pengikat, dan secara tidak langsung melalui pengaruhnya terhadap porositas dan kandungan air. Bahan organik sebagai suatu rangkaian kesatuan dari beberapa bahan (material) dapat digambarkan sebagai suatu gugusan yang tersusun dengan pertumbuhan yang berbeda (Jenkinson dan Reyner, 1977). Gugusan tersebut mencakup bahan tanaman yang dapat melapuk maupun yang resisten, biomassa tanah, bahan organik yang secara fisik maupun kimia dapat menstabilkan struktur tanah. Didapatkan bahwa stabilitas struktur tanah sangat kuat dipengaruhi oleh kandungan karbon (C) dibanding yang lainnya dan tingkat karbon dalam tanah pada tanah-tanah pertanian (Kay, 1990).

Stabilitas struktur tanah diperkirakan bervariasi menurut musim sebagai suatu proses fisik yang berhubungan dengan iklim, pertumbuhan tanaman, dan pengolahan. Pertumbuhan tanaman akan merubah suplai dan distribusi C dalam tanah, dan organisme tanah akan memproses lebih lanjut bahan organik pengstabil tersebut (Kay, 1990).

Berdasarkan ketahanan atau laju kehilangan, Tisdall dan Oades (1982) mengelompokkan bahan organik pengstabil ke dalam tiga bagian, yaitu: (1) *temporary* (akar, hipa fungi, dan sel-sel bakteri), (2) *transient* (terutama polisakarida), dan (3) *persisten*. Bahan yang tergolong transient bertahan dalam beberapa minggu, bahan temporary bervariasi dari beberapa bulan sampai beberapa tahun, dan

bahan persisten berada dalam tanah dalam periode yang lebih lama dan jumlahnya dapat mencapai 52 sampai 98 % dari total bahan organik tanah.

BAB 3

DISPERSI DAN FLOKULASI

A. Dispersi

Ghildyal dan Tripathi (1987) mendefinisikan dispersi sebagai suatu proses yang mengakibatkan terlepasnya (terdispersinya) partikel-partikel tanah satu sama lain. Gusli (1989) merinci beberapa faktor yang mempengaruhi dispersi tanah, yaitu persentase natrium dapat tukar (Exchangeable Sodium Percentage, ESP), daya hantar listrik (Electrical Conductivity, EC), pH tanah, distribusi ukuran partikel, dan tipe mineral liat (Coefficient of Linear Extensibility, COLE).

Dispersi liat akan meningkat dengan meningkatnya pH (Quirk dan Schofield, 1955). Peningkatan pH menyebabkan muatan bersih (*net*) dari liat menjadi negatif, sehingga liat cenderung saling menjauh satu dengan yang lainnya, kondisi yang meningkatkan dispersi liat (Yong dan Warkentin, 1975; van Olphen, 1963; White, 1979). Konsentrasi liat yang rendah dalam suspensi dapat menyebabkan peningkatan pH (Pallman, 1930 *dikutip oleh* van Olphen, 1963). Peningkatan pH sejalan dengan peningkatan muatan negatif dalam suspensi yang menyebabkan ikatan antar partikel tanah melemah, di mana pada kondisi ini memungkinkan tanah untuk terdispersi (Tan, 1992). Reaksi tanah yang meningkat dan mendekati atau lebih besar dari 7, akan menyebabkan terjadinya dispersi karena muatan listrik menjadi *net negatif* (White, 1979). Reaksi tanah (pH) yang tinggi dapat

mencegah muatan positif, dan bila didukung oleh konsentrasi air yang tinggi dapat menambah jarak antara partikel. Hal ini memungkinkan tanah untuk terdispersi karena gaya tarik *van der Waals* tidak efektif lagi (Yong dan Warkentin, 1975).

Menurunnya liat dapat meningkatkan dispersi tanah ketika dilumatkan (*remoulded*) (Emerson, 1983). Bila tanah basah, lalu diberi tenaga mekanik seperti proses pada pelumatan, maka proporsi debu dan pasir halus dapat menjadi faktor penting yang berpengaruh terhadap dispersi tanah (Gusli, 1989). Rendahnya proporsi liat tanah (tanah hanya didominasi oleh pasir atau debu), menyebabkan tanah sangat mudah terdispersi bila ada tekanan dari luar, karena daya ikat antar partikel tanah sangat lemah. Hal ini terjadi karena rendahnya kandungan liat yang mengikat antara partikel-partikel pasir dan debu pada agregat tanah (Tan, 1992).

Dispersi meningkat seiring dengan peningkatan ESP, sebab jumlah ion natrium menjadi lebih besar pada permukaan liat. Oleh karena itu, bila ion kalsium ditukarkan dengan natrium, maka ikatan antara partikel liat menjadi lemah, dan dengan demikian tanah akan mudah terdispersi (Emerson, 1994), karena kation-kation *monovalen* seperti Na^+ sangat mudah dihidrasi dan tidak terikat kuat pada misel (Hakim et al., 1986).

Terdapat hubungan antara ESP/EC dan dispersi liat yang merupakan suatu parameter dari kondisi sifat fisika tanah (Quirk dan Schofield, 1955). Dispersi dapat terjadi secara spontan dengan derajat dispersi yang besar, jika kandungan ESP >15% (Richards, 1954 *dikutip oleh Emerson 1977*), karena ESP >2% sudah cukup untuk mendispersi liat (Shainberg, 1985 *dikutip oleh Gusli, 1989*). Tanah-tanah yang

terbuka bagi pukulan energi hujan dengan ESP sebesar 3 sampai 5% dapat menyebabkan dispersi liat, yang selanjutnya menyebabkan pemadatan tanah dan penurunan infiltrasi (Emerson, 1994). Meskipun demikian, ESP yang tinggi dapat menghasilkan agregat yang stabil bila EC juga tinggi (Quirk dan Schofield, 1955; Marshall dan Holmes, 1979).

Dispersi agregat dapat meningkat dengan meningkatnya konsentrasi air pada agregat (Emerson, 1977; Panabokke dan Quirk, 1957). Pada beberapa tanah, pengolahan tanah dengan tenaga mekanik pada kadar air yang tinggi dapat mengakibatkan dispersi (Baker et al., 1973, Rengasamy et al., 1989 *yang dikutip* oleh Kay dan Dexter, 1990).

Dispersi pada koloid tanah terkontrol secara alami dengan adanya pertukaran kation pada permukaan koloid yang bersifat permanen atau tergantung pH (Shanmuganathan dan Oades, 1982). Oleh karena itu, tanah-tanah dengan kapasitas pertukaran kation yang tinggi, cenderung lebih stabil (Tan, 1992).

Dispersi mekanik hanya terjadi pada permukaan tanah yang disebabkan oleh kekuatan fisik berupa pukulan tetesan hujan, pengaruh ESP, dan EC. Dispersi ini dapat dicegah dengan pemberian mulsa atau penambahan bahan organik pada permukaan tanah (Marshall dan Holmes, 1979). Sedangkan dispersi kimia dapat terjadi secara merata pada profil tanah dan ditentukan oleh nilai ESP dan EC. Oleh karena itu, dispersi kimia dapat dicegah dengan perbaikan EC dan menurunkan ESP, misalnya dengan pemberian gypsum dan kalsium klorida (Gusli, 1989). Selain itu, penambahan *soil conditioner* misalnya *biofert* juga dapat meningkatkan stabilitas agregat dan menurunkan tingkat erosi tanah akibat dispersi (Carlson, 1979).

Pemupukan dengan urea, juga dapat menyebabkan terjadinya dispersi partikel liat (Rengasamy, 1983). Melalui pengujian di laboratorium, Gusli (1996) telah membuktikan adanya dispersi akibat pemberian urea pada mineral liat murni (kaolin, illite, dan montmorillonit) dan tanah Kraznozem Australia. Hal serupa, juga diperoleh Hainun (1997) melalui pengujian dispersibilitas pada 4 jenis tanah di Sulawesi Selatan (Ultisol Bulukumba, Alfisol Maros, Entisol dan Inceptisol Wajo). Secara sederhana, urea di dalam tanah akan terhidrolisis menghasilkan ion amonium, karbondioksida, dan ion hidroksil (Follet et al., 1981). Proses hidrolisis tersebut mengakibatkan peningkatan pH yang mengakibatkan tanah menjadi terdispersi.

B. Flokulasi

Suspensi yang keruh dapat menjadi jernih dengan adanya pengendapan. Fenomena ini disebut flokulasi, yaitu suatu proses bersatunya partikel-partikel koloid menjadi unit yang lebih besar (van Olphen, 1963). Flokulasi terjadi karena adanya gaya tarik menarik antara partikel liat. Gaya ini biasa disebut tarikan *van der Waals*. Tarikan ini hanya efektif pada jarak yang dekat, dan menurun secara cepat dengan meningkatnya jarak. Bila mana, jarak antara partikel menurun hingga 20 Å atau kurang, maka gaya *van der Waals* akan menjadi dominan dan partikel-partikel liat akan terflokulasi (Tan, 1992).

Partikel liat tanah dapat terflokulasi dengan ESP yang rendah atau bila EC tinggi atau keduanya (Shanmuganathan dan Oades, 1983). Dengan EC yang tinggi, maka partikel-partikel tanah saling mengikat

antara satu dengan lainnya, sehingga suspensi tanah cenderung untuk terflokulasi (Marshall dan Holmes, 1979).

Teori Schulze-Hardy menyatakan bahwa flokulasi tergantung dari valensi, tipe ion, dan ion dengan muatan berlawanan pada partikel itu. Selanjutnya, flokulasi dipengaruhi pula oleh tarikan *van der Waals*, gaya elektrostatis, pengikatan partikel oleh rantai panjang yang bersifat polifungsional, dan pengikatan partikel oleh komponen yang ada dalam suspensi (van Olphen, 1963).

Kecenderungan ion-ion memflokulasi atau mendispersi partikel-partikel liat berhubungan dengan posisinya pada deret *Lyotropik* yaitu, $Al^{3+} > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+ = NH_4^+ > Na^+$ (Samosir, 1994). Urutan dari kiri ke kanan pada deret ini menunjukkan kemampuan suatu ion yang berlawanan cenderung lebih kuat memflokulasi, sedangkan natrium dan ion lain cenderung untuk mendispersi liat.

Berbeda dengan urea yang dapat mendispersi liat, pupuk ZA justru cenderung memflokulasi liat (Gusli, 1995; Hainun, 1997). Pemupukan dengan ZA dalam jangka panjang dengan jumlah yang berlebih akan memasamkan tanah, sehingga akan memflokulasi liat. Flokulasi dan stabilitas agregat sangat penting dalam peningkatan kualitas struktur tanah. Agregat yang mantap atau stabil hanya akan terbentuk di dalam tanah, bila liatnya terflokulasi. Jadi flokulasi merupakan dasar terpeliharanya stabilitas struktur tanah (Tisdall dan Oades, 1982; Dexter, 1988).

BAB 4

HUBUNGAN DISPERSI DAN FLOKULASI DENGAN KUALITAS STRUKTUR TANAH

Struktur tanah adalah suatu parameter dinamis yang dipengaruhi oleh faktor lingkungan dalam suatu musim pertanaman (Groenevelt et al., 1984 *dikutip oleh* Kay et al., 1988), dan merupakan faktor *anthropogenic* dimana dapat dijelaskan dalam jangka beberapa tahun, dekade atau abad (Kay et al., 1988). Kerusakan struktur tanah dapat mengakibatkan terjadinya penurunan hasil tanaman (Perfect et al., 1990), karena struktur tanah mempunyai pengaruh langsung terhadap proses-proses yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman (Hamblin, 1985; Letey, 1985).

Kay et al. (1988) menyatakan bahwa struktur tanah mengendalikan sifat fisik tanah seperti ketersediaan air untuk tanaman, aerasi, dan temperatur yang sangat berhubungan dengan perkembangan akar. Low (1954) menekankan bahwa pergerakan air, retensi air, aerasi serta kemudahan pergerakan akar akan tergantung pada struktur. Warkentin (1971) lebih memberikan penekanan kepada keberadaan pori yang sangat vital, hubungannya dengan pergerakan air, gas, bentuk hara dari akar ke tanaman dan biota lain. Struktur yang baik untuk pertumbuhan tanaman, tergantung pada adanya agregat yang berdiameter 1 sampai 10 mm yang cukup stabil terhadap pembasahan. Tanah disebut mempunyai struktur yang bagus, jika total pori sebanyak 60 % dan total pori makro pada saat kapasitas lapang sebanyak 20 % berdasarkan volume tanah. Tanah dikatakan

mempunyai struktur yang jelek jika total pori kurang atau sama dengan 40 % dan pori makro pada saat kapasitas lapang kira-kira 5 % berdasarkan volume (Low, 1955).

Dispersi menyebabkan perubahan struktur tanah (Shainberg, 1983). Dengan terjadinya dispersi, daya agregasi menurun dan kondisi fisik tanah yang buruk akan terjadi (Shanmuganathan dan Oades, 1982). Perubahan struktur tanah dapat terjadi secara makroskopik, dalam bentuk perubahan bulk density dan pori. Secara mikroskopik, diekspresikan dalam bentuk perubahan kekuatan tanah, retensi air, karakteristik aliran udara atau air, sebagai akibat terjadinya interaksi antara partikel dengan partikel atau partikel dengan pori/air (Gusli, 1995a).

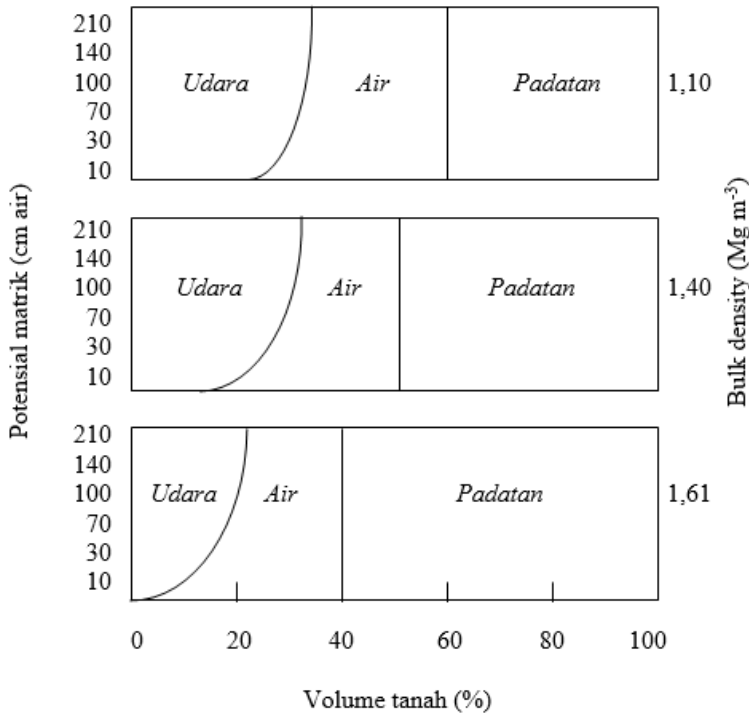
Masalah flokulasi dan stabilitas suspensi sangat penting dalam hubungannya dengan kualitas struktur tanah. Agregat yang mantap dapat terbentuk dalam tanah jika liatnya terflokulasi. Flokulasi merupakan dasar untuk terpeliharanya stabilitas struktur tanah (Tisdall dan Oades, 1982; Dexter, 1988). Salah satu cara memflokulasi liat yang terdispersi, yaitu penambahan garam seperti NaCl (Tan, 1992).

Parameter pengukuran kualitas struktur tanah yang sering digunakan adalah bulk density, namun parameter ini tidak memberikan informasi mengenai ukuran, bentuk dan susunan partikel, dan pori (Gusli, 1996). Selain dari bulk density, pori juga merupakan parameter dalam penentuan kualitas struktur tanah. Pertumbuhan akar dan proses fisik maupun kimia yang terjadi dalam tanah terdapat pada atau lewat ruang pori. Dengan perkataan lain, ruang pori merupakan parameter struktur tanah yang perlu diperhatikan bagi

pertumbuhan tanaman (Islami dan Utomo, 1995). Parameter lain yang sensitif terhadap terjadinya dispersi adalah konduktivitas hidraulik.

A. Distribusi Ukuran Patikel (DUP) dan Retensi Air

Menurut Loveday (1974), ada tiga parameter porositas tanah yang dapat ditentukan, yaitu (i) total volume tanah yang ditempati oleh pori, (ii) volume ruang pori yang terisi udara pada kandungan lengas tertentu, dan (iii) sebaran ukuran pori. Parameter-parameter porositas ini dapat memberikan gagasan mengenai keadaan struktur tanah, keadaan air di dalam tanah, aerasi, dan ketahanan mekanik (Gambar 4.1).



Gambar 4.1. Perubahan volume udara, air, dan padatan tanah lempung berpasir pada berbagai nilai potensial matriks akibat peningkatan bulk density (Eavis, 1973)

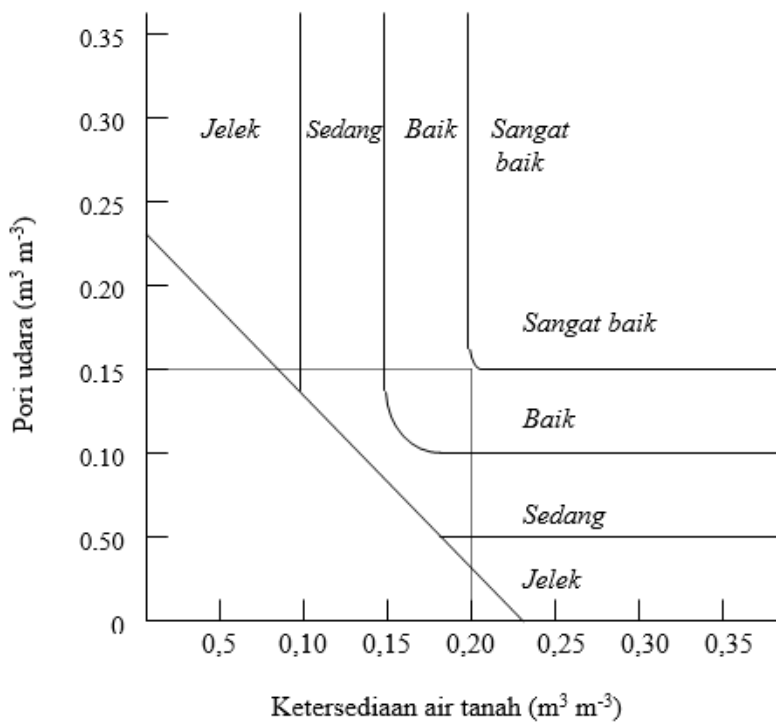
Secara umum, ukuran pori dibagi ke dalam empat kelompok (Donahue et al., 1983, yaitu: (i) pori makro dengan $\varnothing > 0,2$ mm (200 μm), (ii) pori meso dengan $\varnothing > 0,2 - 0,002$ mm (200 - 20 μm), (iii) pori mikro dengan \varnothing rata-rata 0,02 - 0,002 mm (20 - 2 μm), dan (iv) pori sangat kecil dengan $\varnothing < 0,2$ μm . Pada pori berukuran $< 0,2$ μm , air terperap sangat kuat pada partikel tanah pada $\psi_m \leq -1500$ kPa, sehingga tidak tersedia bagi tanaman. Agar akar mampu mengambil air dari permukaan partikel (pada pori yang sangat kecil), diperlukan suatu kekuatan yang sangat besar berupa energi yang harus dimiliki oleh akar tanaman. Untuk mengeluarkan air yang sangat sedikit dalam pori-pori ini diperlukan gaya ≥ -1500 kPa, yang merupakan kekuatan maksimum akar tanaman secara umum untuk mengambil air (Donahue et al., 1983).

Air yang dapat tertahan adalah air yang berada di antara pori-pori kecil yang berupa selaput-selaput air yang ada di permukaan tanah (Donahue et al., 1983). Pori yang menyimpan air antara kapasitas lapang pada umumnya $\psi_m \leq -5$ dan -10 kPa (Cassel dan Nielsen, 1986) dan titik layu permanen pada $\psi_m -1500$ kPa.

B. Pori Terisi Udara dan Ketersediaan Air

Menurut Donahue et al., (1983), ruang pori tanah merupakan bagian yang tidak ditempati bahan padatan, yang tersusun dari mineral dan bahan organik. Pori-pori tanah terlukiskan sebagai *jalan kecil yang berliku-liku*. Hal ini disebabkan oleh bentuk dan susunan partikel tanah yang tidak teratur, sehingga bentuk, ukuran, dan arah pori juga tidak teratur.

Peningkatan bulk density tanah bertekstur lempung berpasir akan dibarengi dengan peningkatan persentase padatan terhadap volume isi tanah hingga dapat mencapai 60 % isi padatan pada tanah yang mempunyai bulk density $1,61 \text{ Mg m}^{-3}$ dibandingkan dengan 27 % isi padatan pada bulk density $1,1 \text{ Mg m}^{-3}$ (Gambar 4.2). Berbarengan dengan hal itu, pori yang terisi air akan meningkat dengan meningkatnya bulk density tanah. Sebaliknya, persentase pori terisi udara dari total volume tanah semakin menurun (Gambar 4.2). Namun, Letey (1985) mengemukakan bahwa pada umumnya ketersediaan air menurun dengan meningkatnya kepadatan tanah



Gambar 4.2. Klasifikasi kualitas struktur tanah pada lapisan olah (Hall et al., 1977)

BAB 5

REGENERASI STRUKTUR TANAH

McLaren dan Cameron (1993) menyebutkan bahwa pembentukan struktur secara umum pada tanah dapat dilihat pada tiga tingkatan skala yang berbeda. Ketiga tingkatan skala tersebut adalah: (i) skala *atomik* atau tingkat *molekuler*, (ii) skala mikroskopik, dan (iii) skala makroskopik atau *visible*.

Di tingkat molekuler, koloid tanah dan bahan organik secara normal bermuatan negatif, dan menarik kation-kation dan molekul-molekul air. Molekul air menarik kation dan liat membentuk jembatan antar koloid. Ketika tanah menjadi kering, jembatan antar koloid yang terbentuk akan terputus dan terjadi flokulasi yang merupakan tahap awal pembentukan struktur tanah (McLaren dan Cameron, 1993). Pada tingkat molekuler ini, variabel yang sangat penting adalah fraksi liat, terutama karena luas permukaannya yang besar, sehingga sering disebut sebagai faktor pengendali agregat tanah (Emerson, 1977).

Partikel pasir dan debu tidak bermuatan, tetapi pada tingkat makroskopik dapat digabung ke dalam makroagregat jika permukaannya tertutupi oleh liat atau bahan organik. Liat atau bahan organik berfungsi sebagai jembatan antara pasir dan debu yang menghasilkan mikroagregat tanah (McLaren dan Cameron, 1993; Emerson, 1984). Greenland et al. (1961) menyebutkan bahwa bahan organik yang sangat berperan dalam proses ini adalah polisakarida.

Mikroagregat tanah diikat bersama ke dalam bentuk makroagregat oleh hipa fungi, akar-akar tanaman, dan agen pengstabil lainnya. Pembentukan agregat tanah membutuhkan beberapa tahap sebagai berikut: (i) adanya koloid tanah, (ii) flokulasi koloid, (iii) mikroagregasi, dan (iv) makroagregasi. Adapun faktor yang penting dalam pembentukan struktur tanah adalah: (i) siklus pembasahan dan pengeringan, (ii) siklus pembekuan dan pencairan, (iii) perakaran, dan (iv) bahan organik dan aktivitas organisme tanah (McLaren dan Cameron, 1993),

Low (1972) menyatakan bahwa budidaya tanaman dapat merusak tanah dan merubah struktur tanah. Hal tersebut diperkuat oleh Ketcheson (1980), Marsel dan Mackenzie (1980) *dikutip oleh* Perfect et al. (1990), bahwa perubahan praktek pengelolaan tanaman di Kanada bagian tengah dan timur selama lebih dari 25 tahun menyebabkan kerusakan kondisi sifat fisik tanah, terutama struktur tanah.

Russel (1971) menyebutkan beberapa mekanisme yang utama dalam pembentukan struktur tanah, dua di antaranya adalah melalui pelaksanaan budidaya tanaman dan melalui saluran yang terbentuk dari hasil akar-akar tanaman yang telah lapuk. Akar tanaman mempunyai pengaruh terhadap struktur tanah melalui: (i) pertumbuhan yang menghasilkan saluran-saluran dan (ii) adanya polisakarida, bakteri, gum dan hipa. Oades (1984) menyebutkan bahwa pada rerumputan, sistem perakaran yang ekstensif sangat mendukung perbaikan struktur tanah melalui pengikatan agregat dengan akar-akar halus dan hipa fungi *vesicular-arbuscular mycorrhiza* (VAM), dan melalui pengikatan mikroagregat dengan material humik dan

mucilages yang terbentuk selama proses dekomposisi akar dan hipa. Tisdall dan Oades (1982), Miller dan Jastrow (1990 *dikutip oleh* Martin et al., 1997) menyatakan bahwa pertumbuhan tanaman dapat memperbaiki struktur tanah melalui beberapa mekanisme, seperti pengikatan agregat oleh akar halus.

Bahan-bahan yang dikeluarkan oleh akar yang disebut eksudat, sangat besar pengaruhnya terhadap regenerasi struktur tanah. Russel (1977 *dikutip oleh* Islami dan Utomo, 1995) mengelompokkan eksudat menjadi lima kelompok, yaitu karbohidrat, asam amino, asam organik, enzim, dan senyawa lain. Lebih jauh ditambahkan bahwa, dengan adanya eksudat kondisi lingkungan tanah akan berubah, sehingga akan mempengaruhi kehidupan jasad di sekitarnya.

Eksudat dan akar tanaman yang telah mati, selanjutnya oleh jasad mikro tanah dirombak menjadi bahan yang mampu mengikat butir-butir tanah menjadi agregat. Jadi, disini berlangsung mekanisme secara biologis-mekanis-kimiawi. Pentingnya akar tanaman dalam membentuk agregat tanah dengan mekanisme seperti ini telah ditekankan oleh Harris et al. (1966).

BAB 6

PENINGKATAN KUALITAS STRUKTUR TANAH

A. Rangkaian Percobaan

Untuk melihat perubahan kualitas tanah telah dilakukan dua percobaan menggunakan tanah *Typic Hapludult* (ordo Ultisol) asal Malino Kabupaten Gowa yang diambil pada kedalaman 0 sampai 200 mm. Contoh tanah ini dikeringudarkan, kemudian diayak melewati ayakan dengan diameter lubang 5 mm.

Untuk percobaan 1 (pertama), Tanah yang telah dikeringudarkan dan diayak (agregat tanah berdiameter < 5 mm) tersebut kemudian dimasukkan ke dalam pot sebanyak 6 kg per pot. Bulk density tanah dalam pot diusahakan seragam (1 Mg m^{-3}) pada setiap perlakuan. Tanah dalam pot kemudian diberi pupuk sesuai dengan dosis yang ditetapkan dengan cara disebar merata di atas permukaan tanah, kemudian ditambahkan air sebanyak 2,82 L ke dalam pot untuk mencapai kondisi kapasitas lapang (-5 kpa). Pot tersebut kemudian ditutup dengan plastik hitam untuk menekan laju volatilisasi (penguapan) N dan diinkubasi selama 2×24 jam. Setelah diinkubasi, lalu diujani dengan menggunakan simulator hujan dengan diameter butir hujan 2,4 mm selama 60 menit dengan intensitas 100 mm jam^{-1} . Dengan lama penyiraman tersebut menyebabkan terjadinya drainase melalui bagian dasar pot. Setelah diujani, tanah dalam pot kemudian diinkubasi lagi selama 2×24 jam, lalu diamati perubahan sifat fisiknya yang ditimbulkan oleh pengaruh

dispersif urea. Pengamatan sifat fisik tanah yang dilakukan disajikan pada Tabel 2.

Percobaan 1 dilakukan dengan menggunakan rancangan acak lengkap yang terdiri dari 2 faktor, yaitu jenis pupuk dan dosis setiap perlakuan diulang sebanyak 3 ulangan. Jenis pupuk yang digunakan adalah urea dan ZA. Dosis yang digunakan adalah 125, 250, dan 500 kg ha⁻¹ urea dan ZA dengan dosis yang setara dengan dosis N pada urea masing-masing (274, 548, 1095 kg ZA ha⁻¹). Dengan demikian, ada 7 kombinasi perlakuan (termasuk kontrol), yaitu :

- Ktr = Tanpa pupuk N
- UD₁ = pupuk urea, dosis 125 kg ha⁻¹
- UD₂ = pupuk urea, dosis 250 kg ha⁻¹
- UD₃ = pupuk urea, dosis 500 kg ha⁻¹
- ZD₁ = pupuk ZA, dosis 274 kg ha⁻¹
- ZD₂ = pupuk ZA, dosis 548 kg ha⁻¹
- ZD₃ = pupuk ZA, dosis 1095 kg ha⁻¹

Percobaan 2 (kedua) dilakukan dengan cara sebagai berikut: contoh tanah dalam pot yang telah diberikan perlakuan pemupukan yang sama seperti pada percobaan bagian pertama, juga diujani dengan intensitas yang sama. Setelah diinkubasikan, pot-pot diberikan perlakuan pengelolaan air yang dikendalikan pada potensial matriks sekitar -5 kPa (kapasitas lapang) dan antara -5 sampai -100 kPa (lebih kering dari kapasitas lapang tetapi masih menyediakan cukup air). Pot-pot diatur menurut rancangan petak-petak terpisah dengan regim air sebagai petak utama, jenis pupuk sebagai anak petak, dan dosis

sebagai anak-anak petak. Berdasarkan hal tersebut maka didapat 14 kombinasi perlakuan, yaitu :

A1P ₀ D ₀	= $\psi_m \pm -5$ kPa, tanpa pupuk N
A1P _u D ₁	= $\psi_m \pm -5$ kPa, urea dosis 125 kg ha ⁻¹
A1P _u D ₂	= $\psi_m \pm -5$ kPa, urea dosis 250 kg ha ⁻¹
A1P _u D ₃	= $\psi_m \pm -5$ kPa, urea dosis 500 kg ha ⁻¹
A1P _z D ₁	= $\psi_m \pm -5$ kPa, ZA dosis 274 kg ha ⁻¹
A1P _z D ₂	= $\psi_m \pm -5$ kPa, ZA dosis 548 kg ha ⁻¹
A1P _z D ₃	= $\psi_m \pm -5$ kPa, ZA dosis 1095 kg ha ⁻¹
A2P ₀ D ₀	= $\psi_m -5$ sampai -100 kPa, tanpa pupuk N
A2P _u D ₁	= $\psi_m -5$ sampai -100 kPa, urea dosis 125 kg ha ⁻¹
A2P _u D ₂	= $\psi_m -5$ sampai -100 kPa, urea dosis 250 kg ha ⁻¹
A2P _u D ₃	= $\psi_m -5$ sampai -100 kPa, urea dosis 500 kg ha ⁻¹
A2P _z D ₁	= $\psi_m -5$ sampai -100 kPa, ZA dosis 274 kg ha ⁻¹
A2P _z D ₂	= $\psi_m -5$ sampai -100 kPa, ZA dosis 548 kg ha ⁻¹
A2P _z D ₃	= $\psi_m -5$ sampai -100 kPa, ZA dosis 1095 kg ha ⁻¹

Setelah pengaturan rancangan tersebut, penanaman bibit tomat dilakukan dengan menanam dua bibit tomat per pot. Satu minggu kemudian diadakan pemupukan pupuk dasar untuk menyuplai kebutuhan hara tanaman. Pemeliharaan tanaman tomat dilakukan sampai fase produksi. Setelah panen, pengamatan sifat fisik tanah dilakukan untuk mengetahui pengaruh pengendalian regim air dan penanaman tomat. Pengamatan sifat fisik tanah yang dilakukan pada percobaan ini disajikan pada Tabel 2.

Penentuan regim air untuk percobaan 2 (kedua) dianalisis dengan menggunakan metode *hanging water column (sintered funnel)* (Gambar 6). Penentuan regim air -5 kPa dilakukan sebagai berikut, sampel tanah kering udara yang berasal dari lapangan dimasukkan ke dalam funnel. Funnel dan selang plastik penghubung diisi penuh dengan air tanpa gelembung udara. Funnel bersama contoh tanah di dalamnya diklemp pada posisi stand setinggi kolom air tanah, yaitu 50 cm. Setelah 24 jam, contoh tanah dalam funnel ditimbang berat basahanya, kemudian dikeringovenkan selama 2×24 jam dengan suhu 105 °C. Setelah dikeringovenkan, contoh tanah tersebut dimasukkan ke dalam eksikator dan selanjutnya ditimbang untuk mengetahui berat keringnya.

Penentuan regim air -100 kPa adalah sebagai berikut, sampel tanah yang berasal dari lapangan ditimbang untuk mengetahui berat basahanya, kemudian dikeringovenkan selama 24 jam dengan suhu 105 °C. Setelah 24 jam, sampel tanah tersebut dimasukkan ke dalam eksikator dan selanjutnya ditimbang kembali untuk mengetahui berat keringnya.

Sebelum diadakan penanaman pada percobaan 2, benih terlebih dahulu disemaikan pada bedengan pesemaian selama 3 minggu. Penanaman pada pot dilakukan dengan mengambil 2 bibit tanaman yang seragam dari pesemaian. Setelah berumur 2 bulan, dipilih satu tanaman yang terbaik.

Pemeliharaan tanaman pada percobaan 2 meliputi penyiraman, pemupukan, pembuatan lanjaran, pemangkasan, pemberantasan gulma dan pengendalian hama/penyakit. Penyiraman dilakukan untuk mempertahankan potensial matriks (kadar air) yang ditetapkan sesuai

perlakuan. Air yang ditambahkan, diketahui melalui perhitungan kadar air yang telah ditetapkan sebelumnya untuk masing-masing potensial matriks. Jumlah air yang ditambahkan pertama kali ke dalam pot untuk mencapai kondisi kapasitas lapang ($\psi_m =$ sekitar -5 kPa) sebanyak 2,82 L. Selanjutnya air yang ditambahkan untuk mempertahankan kondisi kapasitas lapang adalah berkisar 200 sampai 250 mL dengan interval penyiraman setiap 24 jam. Pada $\psi_m =$ sekitar -100 kPa, air yang ditambahkan untuk mempertahankan kondisi kapasitas lapang adalah berkisar antara 450 sampai 500 mL dengan interval penyiraman setiap 2 X 24 jam. Untuk lebih jelasnya, jumlah air yang ditambahkan ke dalam pot untuk masing-masing perlakuan potensial matriks dapat dilihat pada Tabel 6.1.

Tabel 6.1. Jumlah air yang ditambahkan ke dalam tanah untuk mencapai potensial matriks sekitar -5 dan -5 sampai -100 kPa

Potensial matriks (kPa)	Jumlah air yang ditambahkan pertama kali pada pot (L)	Kisaran penambahan air (mL) per pot	Interval penyiraman (jam)
± -5	2,82	200 – 250	Setiap 24
± -5 sampai -100	1,23	450 – 500	Setiap 2 X 24

Pemupukan dilaksanakan 1 minggu setelah tanam dengan menggunakan pupuk urea, TSP, dan KCl dengan dosis 220 kg N ha^{-1} , 39 kg P ha^{-1} , dan 370 kg K ha^{-1} . Pemupukan dilakukan dengan cara membenamkan pupuk kedalam lubang tanah sedalam 1 sampai 2 cm untuk mencegah volatilisasi, pada jarak ± 5 cm dari batang.

Pembuatan lanjaran dilakukan dengan tujuan untuk menunjang berdirinya tanaman yang lunak. Tanaman tomat termasuk tanaman lunak, sehingga pembuatan lanjaran mutlak diperlukan. Lanjaran terbuat dari bambu setinggi 1,5 m. Pembuatan lanjaran dilakukan setelah tanaman tomat mencapai tinggi 25 cm.

Tanaman tomat termasuk tanaman yang tumbuh sangat cepat dan bercabang banyak. Apabila semua cabang dibiarkan hidup, maka buah yang dihasilkan menjadi kerdil, oleh karena itu tunas muda yang tumbuh di ketiak daun pada batang utama harus dipangkas. Pemangkasan dilakukan setiap minggu.

Pemberantasan gulma dilakukan untuk mencegah terjadinya persaingan penyerapan unsur hara antara tanaman dengan gulma. Pemberantasan gulma dilakukan dengan cara mencabut gulma yang tumbuh di dalam pot. Untuk pengendalian hama/ penyakit dilakukan jika ada tanda-tanda serangan hama penyakit pada tanaman. Pengendalian hama penyakit dilakukan dengan menggunakan pestisida/fungisida.

B. Pengamatan Perubahan Struktur Tanah

Degradasi kualitas struktur tanah, akibat dispersi liat ditandai dengan adanya perubahan kualitas struktur tanah. Perubahan tersebut dapat diamati melalui beberapa parameter. Adapun pengamatan perubahan struktur tanah yang diukur pada penelitian ini, yang disusun berdasarkan urutan pelaksanaannya dapat dilihat pada Tabel 6.2.

Untuk pengamatan-pengamatan tersebut, dilakukan pengambilan sampel tanah dengan menggunakan ring sampler

sebanyak 2 ring pada kedalaman 0 sampai 10 cm pada setiap pot percobaan. Secara khusus pada percobaan 2, lokasi pengambilan sampel dibagi menjadi 2 kelompok, yaitu (1) Daerah perakaran dalam radius 4 cm dari batang dan (2) Daerah perakaran dalam radius antara 4 sampai 10 cm dari batang.

Tabel 6.2. Parameter pengamatan perubahan struktur tanah yang diamati pada Percobaan 1 dan 2

Parameter	Percobaan		
	1	2a (0-4 cm dari batang)	2b (4-10 cm dari batang)
Konduktivitas hidrolis	✓	✓	✓
Retensi air	✓	✓	-
Distribusi ukuran pori	✓	✓	-
Resistensi pengaliran udara	✓	✓	-
Distribusi ukuran agregat	✓	✓	-
Bulk density	✓	✓	✓

1. Konduktivitas hidrolis

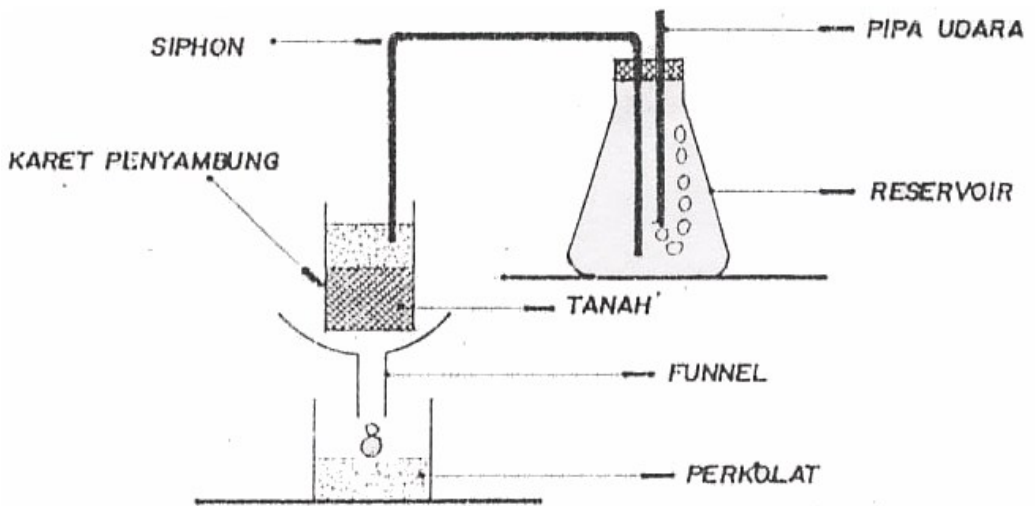
Pengukuran konduktivitas hidrolis (K_s) dilakukan dalam keadaan sampel tanah dalam ring sampler jenuh oleh air. Panjang kolom tanah L mm (tinggi ring sampel) dengan luas ring sampel A mm². Jumlah air yang dilewatkan pada lapisan tanah di dalam ring sampler ditimbang untuk selanjutnya dikonversi ke volume dengan asumsi kerapatan jenis air = 1 Mg m⁻³, dan untuk memperoleh nilai K_s digunakan persamaan:

$$K_s = VL / [At (H_2 - H_1)] \dots\dots\dots(1)$$

Dimana, V adalah volume air (cm³) yang mengalir melalui sampel dengan luas A (mm²) selama waktu t (detik), dan

$(H_2 - H_1)$ adalah perbedaan *hydraulic head* (mm) yang dipertahankan, sehingga metode ini disebut sebagai *constant head method* (Klute dan Dirksen, 1986 dikutip oleh Gusli, 1995b).

Untuk pelaksanaannya, digunakan peralatan yang terdiri dari ring sampler yang berisi tanah utuh dari pot, yang bagian atasnya disambung dengan ring sampler lain, dengan menggunakan karet penyambung. Ring sampler kedua ini diisi dengan akuades yang dipertahankan *head*-nya melalui sistem siphon, dengan menggunakan botol *mariotte* (Gambar 5.1).



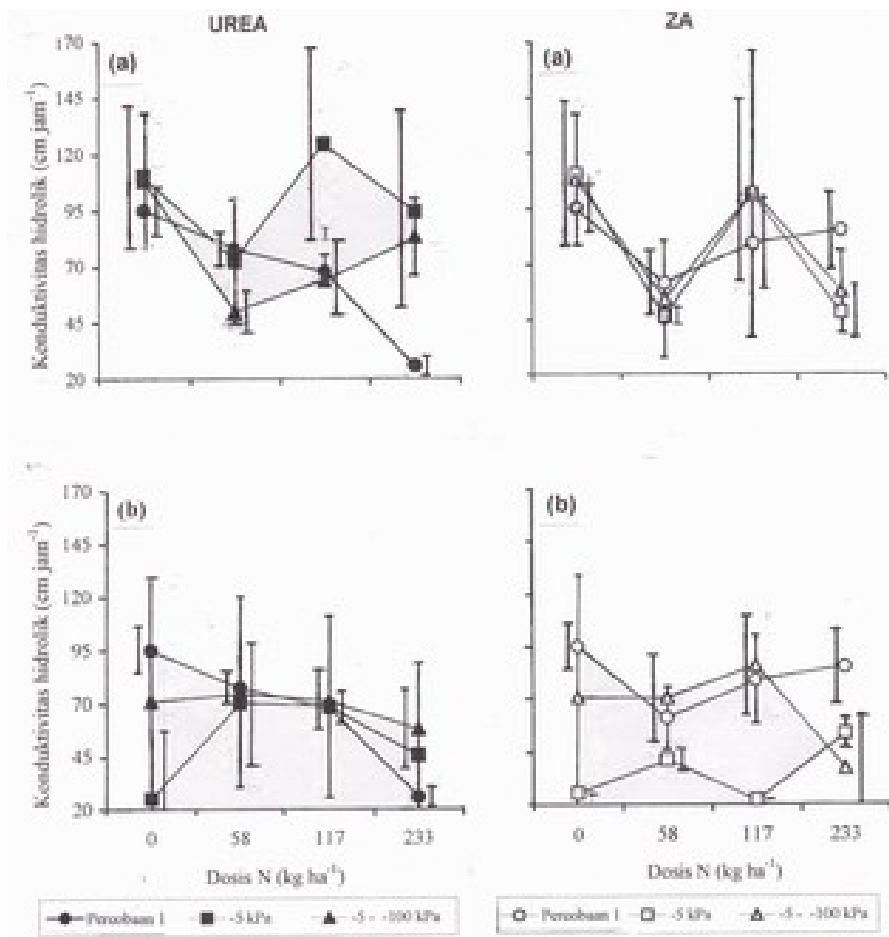
Gambar 6.1 Pengukuran konduktivitas hidrolis jenuh dengan sistem siphon (Gusli, 1995b)

Hasil pengamatan K_s disajikan pada Gambar 5.2 Perbandingan antara hasil pengamatan pada daerah perakaran dalam radius < 4 cm dari batang dengan radius antara 4 sampai 10 cm dari batang serta Percobaan 1 (P1) disajikan pada Gambar 5.2a dan 5.2b. Pada tanah tanpa tanaman tomat (P1), pemberian urea dengan dosis yang lebih

tinggi jelas menurunkan Ks, sedangkan pemberian ZA, pengaruh dosis pupuk tidak nyata.

Hasil pengamatan pada daerah perakaran dalam radius < 4 cm dari batang (Gambar 5.2a), menunjukkan bahwa, pemupukan dengan urea yang disertai pengendalian regim air pada $\psi_m \pm -5$ kPa dan -5 sampai -100 kPa memberikan Ks yang meningkat walaupun tidak konsisten, seiring dengan meningkatnya dosis N. Perlakuan berbeda nyata dengan hasil P1, hanya pada dosis 233 N kg ha^{-1} . Sementara, pada pemupukan dengan ZA memberikan Ks yang cenderung menurun dan tidak konsisten, serta pengaruh semua perlakuan berbeda tidak nyata.

Hasil pengamatan pada daerah perakaran dalam radius antara 4 sampai 10 cm dari batang (Gambar 5.2b) menunjukkan bahwa, pemupukan dengan urea yang disertai pengendalian regim air (P2) memberikan Ks yang lebih tinggi dari hasil P1, dan Ks membentuk pola kuadratik yang menurun seiring dengan meningkatnya dosis N. Hal tersebut, bertolak belakang dengan hasil pengamatan pada daerah perakaran dalam radius < 4 cm dari batang (Gambar 5.2a). Semua perlakuan memberikan hasil yang berbeda tidak nyata. Sementara, pada pemupukan dengan ZA yang disertai pengendalian regim air, secara umum memberikan hasil yang stabil (konstan), dan kedua perlakuan regim air berbeda tidak nyata, hanya pada dosis 233 N kg ha^{-1} . Perlakuan pengendalian regim air pada $\psi_m \pm -5$ kPa berbeda nyata dengan P1.



Gambar 6.2. Pengaruh pemberian urea dan amonium sulfat serta pengendalian regim air terhadap konduktivitas hidrolis (Ks), yang diamati pada: (a) Daerah perakaran dalam radius < 4 cm dari batang dan (b) Daerah perakaran dalam radius antara 4 sampai 10 cm dari batang.

Hasil pengamatan Ks (Gambar 5.2), secara umum data menunjukkan bahwa, pemupukan dengan urea menurunkan Ks dibanding pemupukan dengan ZA. Adanya liat yang terdispersi, mengakibatkan pori pengantar dan penyimpan air tanah menjadi tertutup (Tisdall dan Oades, 1982). Diduga inilah yang terjadi pada

perlakuan dengan pemberian urea yang menyebabkan Ks menurun. Lebih jauh, dengan tertutupnya pori tersebut dapat menyebabkan penurunan Ks yang drastis (Dawidowski dan Koelen, 1987 *dikutip oleh Kirby, 1991*). Hal serupa, juga dikemukakan oleh Dexter (1988) bahwa, dengan rusaknya struktur tanah, akan menyebabkan hilangnya pori makro dan kontinuitas pori yang akan menurunkan Ks secara drastis.

Pengamatan pada daerah perakaran dalam radius < 4 cm dari batang (Gambar 8a), menunjukkan bahwa, pemupukan dengan urea yang disertai pengendalian regim air, mampu meningkatkan Ks dibanding percobaan 1 dan berbeda nyata pada dosis 233 kg N ha⁻¹, begitu juga pada pengamatan pada daerah perakaran radius 4 sampai 10 cm dari batang. Pengendalian regim air juga meningkatkan Ks, walaupun berbeda tidak nyata dengan percobaan 1 pada dosis 233 kg N ha⁻¹, bahkan grafiknya menurun dengan bertambahnya dosis N. Aplikasi penyiraman (pembasahan) pada pengendalian regim air, disinyalir dapat merusak struktur tanah, sebaliknya pengeringan setelah penyiraman diharapkan dapat terbentuk struktur tanah yang lebih bagus dan terbentuk pori penghantar air melalui proses *basah-kering* (Russel, 1938 *dikutip oleh Harris et al., 1966*).

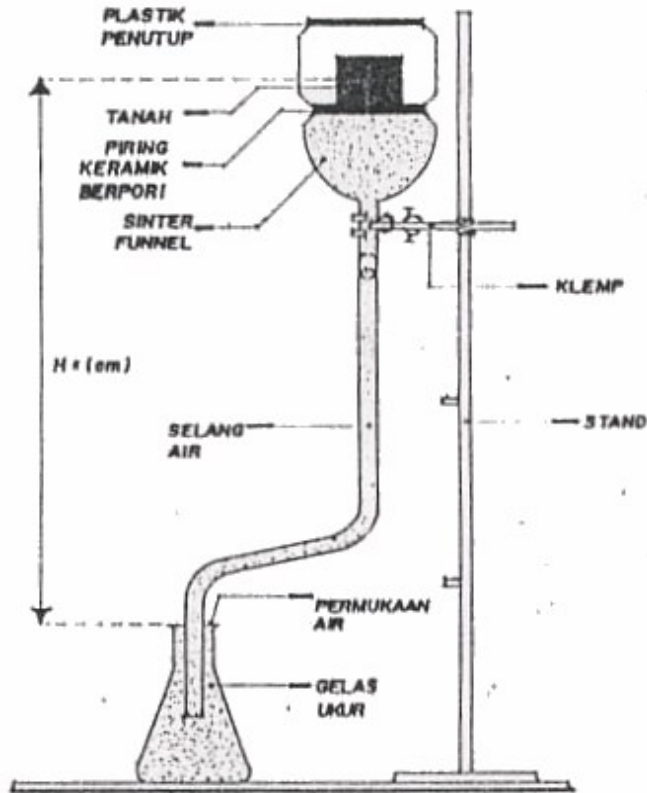
Pengaruh sistem budidaya tanaman, juga diharapkan dapat memperbaiki Ks tanah, walaupun beberapa peneliti mendapatkan bahwa, saluran akar menurunkan Ks melalui *effect dead-end* (genangan air karena pori yang buntu) (Gish dan Jury, 1983 *dikutip oleh Hamblin, 1985*). Hal serupa, juga ditemukan oleh Ley dan Barley (1958 *dikutip oleh Hamblin, 1985*) pada rumput-rumputan, bahwa akar menurunkan nilai Ks. Tetapi, Hamblin (1985) dengan tegas menyatakan bahwa saluran akar dapat meningkatkan Ks. Hal ini,

sejalan dengan apa yang diperoleh dari hasil penelitian, yaitu nilai K_s lebih tinggi pada daerah perakaran dalam radius < 4 cm dari batang dibandingkan dengan daerah perakaran dalam radius antara 4 sampai 10 cm dari batang.

Untuk perkembangan tanaman, K_s sangat dibutuhkan. Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, nilai K_s terendah yaitu 25 cm jam^{-1} yang masih jauh di atas nilai K_s minimum yang diperlukan oleh tanaman, yaitu sekitar 10^{-4} sampai $10^{-5} \text{ mm hari}^{-1}$ (Newman, 1969, Taylor dan Klepper, 1975, Reicosky dan Ritchie, 1976, Hasegawa dan Sato, 1985 *dikutip oleh* Dexter, 1988).

2. Retensi air tanah

Pengukuran retensi air tanah (RAT) dilakukan dengan menggunakan metode *hanging water column* (Loveday, 1974), yang dilakukan pada sampel yang sama dengan sampel yang digunakan pada pengukuran konduktivitas hidrolis. Tanah dalam ring sampler tersebut diletakkan di atas lapisan keramik berpori yang dihubungkan oleh *sinter funnel* dan selang dengan gelas ukur sebagai wadah berisi air (Gambar 5.3).



Gambar 6.3. Pengukuran retensi air dengan metode *hanging water column*

Jarak antara muka air pada wadah dengan ring sampler merupakan nilai potensial matriks. Funnel diklemp pada stand dapat diturunkan dengan mengubah posisi pada stand, dan pengaturannya dapat disesuaikan dengan besaran potensial matriks yang diinginkan. Pada percobaan ini, nilai retensi air yang diamati adalah pada potensial matriks -2 , -5 , -10 , dan -20 kPa. Pengukuran RAT dilakukan dengan cara menimbang berat sampel tanah dari setiap perlakuan setelah tercapai kesetimbangan pada 24 jam untuk potensial matriks -2 dan -5 , dan 48 jam untuk potensial matriks -10 , dan -20 kPa. RAT dari

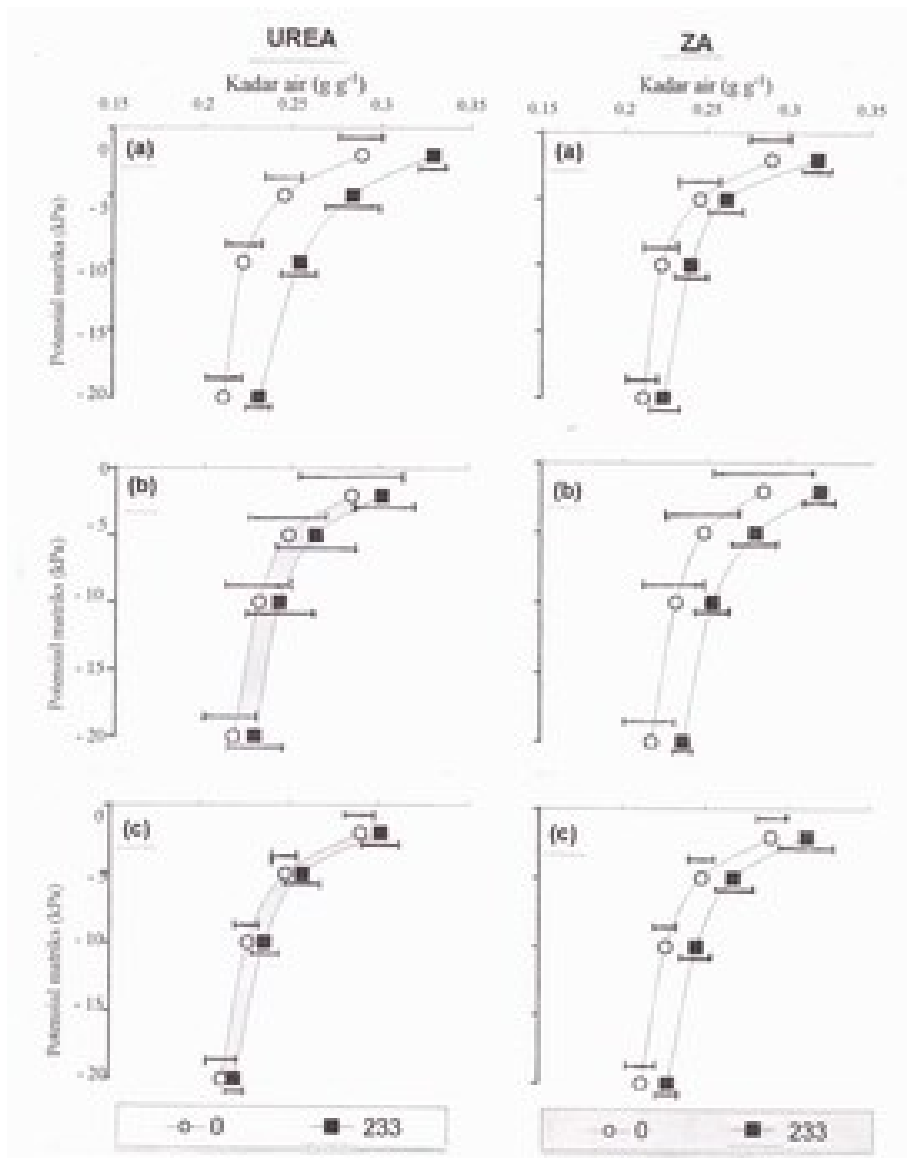
masing-masing perlakuan diperoleh dengan memplotkan hubungan kadar air tanah volumetrik ($m\ m^{-1}$) dengan potensial matriks (kPa).

Hasil pengamatan RAT disajikan pada Gambar 5.4 dengan membandingkan antara dosis 0 dengan $233\ kg\ N\ ha^{-1}$. Perbandingan antara hasil pengamatan pada percobaan 1, regim air pada $\psi_m \pm -5$ kPa, dan regim air pada $\psi_m \pm -5$ sampai -100 kPa disajikan pada Gambar 6.4a,b,c. Secara umum, pemupukan dengan ZA pada setiap besaran potensial matriks dan pengendalian regim air yang dicobakan, memberikan RAT yang tertinggi dibandingkan pemupukan dengan urea dan kontrol.

Hasil pengamatan pada percobaan 1 disajikan pada Gambar 9a. Dari Gambar 5.4a terlihat bahwa, pemupukan dengan urea dosis $233\ kg\ N\ ha^{-1}$ memberikan RAT yang berbeda nyata dengan dosis $0\ kg\ N\ ha^{-1}$, sementara pemupukan dengan ZA dosis $233\ kg\ N\ ha^{-1}$ berbeda tidak nyata dengan dosis $0\ kg\ N\ ha^{-1}$.

Hasil pengamatan pada pengendalian regim air pada $\psi_m \pm -5$ kPa (Gambar 5.4b), baik pemupukan dengan urea maupun dengan ZA memberikan RAT yang berbeda tidak nyata. Secara grafis, Gambar 5.4b memberikan grafik yang lebih berhimpit dibanding Gambar 5.4a.

Hasil pengamatan pada pengendalian regim air pada $\psi_m -5$ sampai -100 kPa (Gambar 5.4c), baik pada pemupukan dengan urea maupun ZA, secara umum, memberikan RAT yang berbeda tidak nyata. Secara grafis, hasil pengamatan pada $\psi_m \pm -5$ kPa dan $\psi_m \pm -5$ sampai -100 kPa adalah relatif sama. Gambar 5.4c, khususnya pemupukan dengan urea, grafik kedua dosis tersebut lebih berhimpit dibandingkan dengan grafik pada Gambar 5.4a dan 5.4b.



Gambar 6.4. Pengaruh pemberian urea dan amonium sulfat serta pengendalian regim air terhadap retensi air tanah (RAT), yang diamati pada: (a) Percobaan 1, (b) Regim air pada $\psi_m \pm -5$ kPa serta ditanami tomat, dan (c) Regim air pada $\psi_m -5$ sampai -100 kPa serta ditanami tomat.

Hasil pengamatan RAT (Gambar 5.4), secara umum, pemupukan dengan ZA pada setiap besaran potensial matriks dan pengendalian

regim air yang dicoba memberikan RAT yang tertinggi, dibandingkan pemupukan urea dan kontrol. RAT yang lebih tinggi pada pemupukan dengan ZA, merupakan indikasi terjadinya perkembangan struktur yang lebih baik, akibat flokulasi (Tisdall dan Oades, 1982; Dexter, 1988).

Struktur tanah mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap keseimbangan air tanah (Dexter, 1988). Hal tersebut didukung oleh Low (1954) yang mendapatkan bahwa, struktur tanah sangat menentukan pergerakan air, retensi air, aerasi serta mudahnya penetrasi akar. Lebih jauh, Warkentin (1971) mengemukakan bahwa, pemadatan tanah akan mengakibatkan daya retensi air tanah akan menurun.

Pengaruh perlakuan regim air, baik pada $\psi_m \pm -5$ kPa maupun -5 sampai -10 kPa memberikan hasil yang tidak nyata pada semua perlakuan. Hasil pengamatan pada $\psi_m -5$ sampai -100 kPa, khususnya pada urea (Gambar 5.4c) menghasilkan grafik yang lebih berhimpit dibandingkan pengamatan pada potensial matriks ± -5 kPa dan kontrol (Gambar 5.4a dan b), hal ini mengindikasikan adanya perbaikan struktur tanah. Melalui proses basah kering pada perlakuan regim air, diharapkan akan tercipta pori yang lebih baik (Warkentin, 1971) yang implikasinya akan memperbaiki RAT.

Air selain untuk pertumbuhan tanaman, juga mempunyai peranan yang besar dalam proses agregasi (Panabokke dan Quirk, 1957; Hartmann dan De Boodt, 1974). Lebih jauh, Hartmann dan De Boodt (1974) menjelaskan bahwa, air sangat penting pada agregasi yang sifatnya temporer, ketika kandungan liat, debu, dan bahan organik sangat rendah, dimana air membentuk suatu jembatan antara partikel tanah dengan suatu cara melalui *meniscus*. Untuk proses

agregasi yang optimal, pada tanah dengan kandungan liat yang rendah, berada pada nilai potensial matriks -1000 kPa (Wind, 1963 *dikutip oleh* Hartmann dan De Boodt, 1974).

Melalui sistem budidaya tanaman (penanaman tomat), diharapkan dapat memperbaiki struktur tanah dan memberikan dampak positif terhadap RAT. Dari sistem perakaran tomat yang terbentuk, diharapkan tercipta total pori yang lebih besar, sehingga banyaknya air yang dapat dipegang oleh tanah jenuh air akan meningkat (Warkentin, 1971). Hal ini diperkuat oleh Hillel (1980) bahwa, pemadatan tanah mempengaruhi RAT. Lebih lanjut, Marshall dan Holmes (1988) mendapatkan bahwa, makin tinggi kepadatan tanah, maka pori makro menurun dan pori mikro meningkat dan nilai potensial air menjadi sangat kecil. Dengan mengecilnya nilai potensial air tersebut, maka tanaman akan membutuhkan energi yang besar untuk menyerap air dari pori-pori yang sangat kecil (Donahue et al., 1983; Letey, 1985).

Untuk pertumbuhan tanaman, diperlukan suatu kisaran kandungan air tanah, yang mengacu ke energi dimana air dipegang oleh tanah (potensial air tanah). Kisaran air tersebut, mengacu ke kapasitas lapang (KL) sebagai batas atas dan titik layu permanen (TLP) untuk potensial air terendah (Letey, 1985). Penetapan nilai KL sangat bervariasi seperti: -5 sampai -20 kPa (McLaren dan Cameron, 1993), -6 sampai -33 kPa (Dexter, 1988), dan umumnya, yang sering dipakai adalah -10 kPa. Sementara TLP, hampir semua peneliti menggunakan nilai -1500 kPa. Penetapan nilai air tersedia dengan berpedoman pada nilai KL dan TLP ini, dikenal dengan sistem AWC (available water content).

Selain konsep AWC, konsep lain yang dapat digunakan untuk menduga ketersediaan air tanah adalah konsep *non-limiting water range* (NLWR) (Letey, 1985). Lebih lanjut, ditambahkan bahwa NLWR sangat peka terhadap perubahan kondisi sifat fisik tanah (struktur tanah). Dibandingkan AWC, NLWR sangat potensial sebagai prediktor kandungan air tersedia yang aktual dan lebih dinamik, karena adanya pertimbangan RAT, kekuatan tanah, aerasi, maupun kapasitas lapang dan titik layu permanen (Gusli, 1997). Dengan pendekatan yang idealistik ini, maka NLWR adalah kandungan air tanah pada keadaan dimana aerasi, resistensi mekanik, dan suplai air tidak membatasi pertumbuhan tanaman (Letey, 1985).

3. Distribusi ukuran pori

Pengukuran distribusi ukuran pori (DUP), dalam bentuk proporsi pori kumulatif (PPK) dilakukan dengan menggunakan data pada pengukuran retensi air, dimana jumlah air yang ditahan oleh tanah pada tekanan potensial matriks tersebut, dapat dinyatakan sebagai diameter pori yang diisi oleh air. Untuk mendapatkan diameter ukuran pori digunakan rumus:

$$r = 15/\psi_m \dots\dots\dots(2)$$

Dimana, r adalah diameter pori (μm) dan ψ_m adalah potensial matriks (m air) (Klute, 1986).

Pengukuran potensial matriks pada -2, -5, -10, dan -20 kPa dapat digunakan sebagai variabel diameter pori tanah, sehingga dengan menggunakan persamaan di atas, maka diameter ukuran pori yang

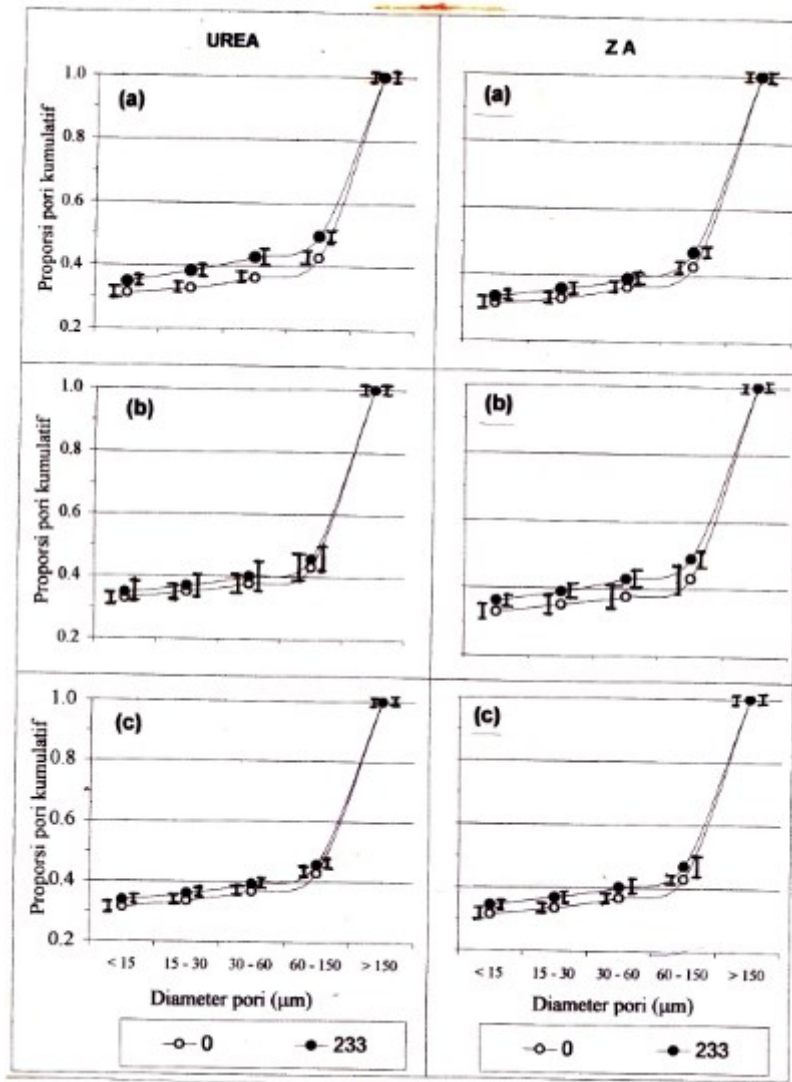
diukur adalah pada ukuran < 15 , $15 - 30$, $30 - 60$, $60 - 150$, dan > 150 μm . Nilai PPK merupakan hasil perbandingan kumulatif pori ukuran tertentu terhadap total pori.

Hasil pengamatan DUP, dalam bentuk PPK disajikan pada Gambar 5.5 dengan membandingkan dosis 0 dengan 233 kg N ha^{-1} . Perbandingan hasil pengamatan pada percobaan 1, regim air pada $\psi_m \pm -5 \text{ kPa}$, dan regim air pada $\psi_m \pm -5$ sampai -100 kPa disajikan pada Gambar 5.5a,b,c. Secara umum, pemupukan dengan ZA memberikan nilai PPK yang lebih tinggi dibandingkan perlakuan lainnya.

Hasil pengamatan pada percobaan 1 disajikan pada Gambar 5.5a. Dari Gambar 5.5a terlihat bahwa, pemupukan dengan urea memberikan PPK yang berbeda nyata dengan dosis 0 kg N ha^{-1} , sementara pemupukan dengan ZA berbeda tidak nyata dengan 0 kg N ha^{-1} .

Hasil pengamatan pada pengendalian regim air pada $\psi_m \pm -5 \text{ kPa}$ (Gambar 5.5b), baik pada pemupukan dengan urea maupun ZA, memberikan PPK yang berbeda tidak nyata. Secara grafis, pemupukan dengan urea memberikan grafik yang lebih berhimpit dibanding Gambar 5.5a, dan sebaliknya terjadi pada ZA.

Hasil pengamatan pada pengendalian regim air pada $\psi_m -5$ sampai -100 kPa (Gambar 5.5c), baik pada pemupukan dengan urea maupun ZA, secara umum, memberikan PPK yang berbeda tidak nyata. Secara grafis, hasil pengamatan pada $\psi_m \pm -5 \text{ kPa}$ dan $\psi_m \pm -5$ sampai -100 kPa adalah relatif sama. Pada Gambar 5.5c, khususnya pemupukan dengan urea, grafik kedua dosis tersebut lebih berhimpit dibandingkan dengan grafik pada Gambar 5.5a dan 5.5b.



Gambar 6.5. Pengaruh pemberian urea dan amonium sulfat serta pengendalian regim air terhadap proporsi pori kumulatif (PPK), yang diamati pada: (a) Percobaan 1, (b) Regim air pada $\psi_m \pm -5$ kPa serta ditanami tomat, dan (c) Regim air pada $\psi_m -5$ sampai -100 kPa serta ditanami tomat.

Hasil pengamatan DUP, dalam bentuk PPK (Gambar 5.5). Secara umum, data menunjukkan bahwa pemupukan dengan ZA memberikan PPK yang lebih tinggi. Tingginya PPK memberikan indikasi adanya

regenerasi struktur terutama pori, akibat efek flokulasi yang diakibatkan oleh pemupukan ZA (Tisdall dan Oades, 1982: Dexter, 1988).

Pori atau rongga, merupakan bagian yang terabaikan dari struktur tanah, karena penelitian mengenai pori, sampai saat ini tergolong sangat sulit. Walaupun penelitian mengenai pori sangat sulit, tetapi perhatian para peneliti tetap ada, mengingat fungsi pori sangat vital terhadap pertukaran air, gas, dan bentuk hara dari akar tanaman ke biota lain (Warkentin, 1971).

Pori dengan diameter $> 150 \mu\text{m}$, dari semua pengamatan tampak masih dominan, yaitu berkisar dari 46 – 58 % dari total pori, sementara pori diameter $30 - 60 \mu\text{m}$ dan $60 - 150 \mu\text{m}$ berkisar dari 3 – 9 %. Pori dengan diameter $> 30 \mu\text{m}$ digolongkan ke dalam pori makro (McLaren dan Cameron, 1993), dimana keberadaannya sangat vital dalam memberikan suplai oksigen dalam tanah, yang berpengaruh terhadap efektivitas serapan dan penggunaan hara tanaman (Labanauskus et al., 1971, 1972, Brower, 1965 *dikutip oleh* Bridge dan Rixon, 1976). Pengaruh lain dari pori makro adalah infiltrasi air dan pertukaran gas dalam tanah (Lee dan Foster, 1991). Selain itu, pori makro juga meningkatkan luas sistem perakaran dan menjadi tempat untuk mikroorganisma (Passioura, 1991).

Pori mikro dengan ukuran diameter $< 30 \mu\text{m}$ (McLaren dan Cameron, 1993) berkisar $< 45 \%$ dari total pori, pori mikro ini sangat berperan dalam hal menyimpan dan menyediakan air untuk tanaman. Lebih lanjut, Quirk dan Williams (1974 *dikutip oleh* Quirk dan Murray, 1991) mengemukakan bahwa, pori $15 - 50 \mu\text{m}$ keberadaannya sangat diperlukan untuk memelihara kestabilan agregat.

Pengaruh perlakuan regim air, baik pada potensial matriks ± -5 kPa maupun -5 sampai -100 kPa belum memberikan hasil yang memuaskan, dimana semua nilai yang dihasilkan, pada semua pengamatan diameter pori memberikan hasil yang berbeda tidak nyata. Melalui proses basah kering, pada kedua perlakuan ini diharapkan akan tercipta pori yang lebih baik melalui efek flokulasi. Dengan efek flokulasi diharapkan akan tercipta pori makro, sehingga akar dapat tumbuh dengan baik, seperti yang dikemukakan oleh Russell (1977), Wang et al.(1986), Tardieu (1988), Hasegawa dan Sato (1987), Hatano et al. (1988) *dikutip oleh* Passioura (1991) bahwa, umumnya akar tumbuh baik pada pori makro.

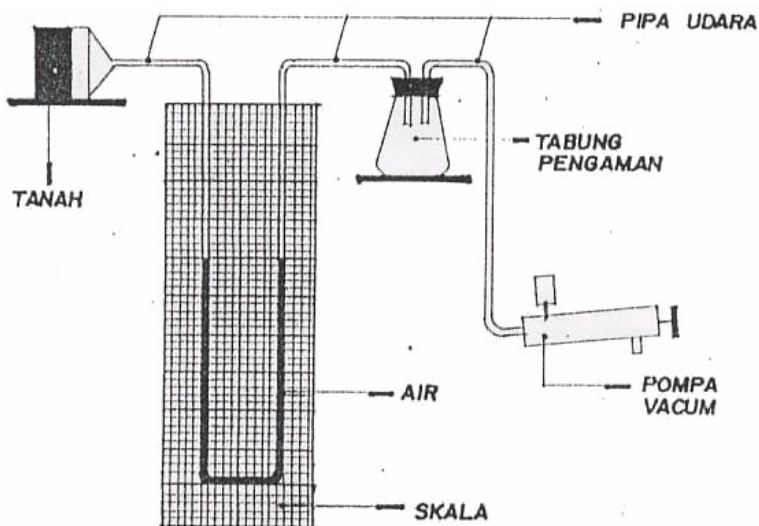
Melalui sistem budidaya tanaman (penanaman tomat), diharapkan dapat memperbaiki struktur tanah melalui proses reagregasi. Berdasarkan data yang diperoleh, baik pada potensial matriks ± -5 kPa maupun -5 sampai -100 kPa, terjadi adanya peningkatan proporsi agregat berukuran $5 - 20$ mm yang berbeda nyata dengan kontrol (lihat sub bab 5), hal ini mengindikasikan adanya pembentukan pori makro, sesuai dengan pendapat Olivia et al. (1999), bahwa pori-pori yang berukuran besar dihasilkan oleh agregat-agregat yang berukuran besar (makroagregat). Selain itu, pori makro juga dapat dibentuk dari aktivitas cacing tanah dan akar-akar tanaman (*biopore*) (Hamblin, 1985).

Keberadaan pori bagi tanaman sangat diperlukan, khusus tanaman tomat membutuhkan porositas > 20 %, dan jika ditanam pada pot maka porositas yang dibutuhkan > 30 % untuk perkembangan akar optimum (Flocker et al., 1959 *dikutip oleh* Grable, 1966).

4. Resistensi pengaliran udara

Pengukuran resistensi pengaliran udara (RPU) dilakukan di laboratorium, dengan mengacu kepada model yang diperkenalkan oleh Blackwell et al. (1990 *dikutip oleh* Kirby, 1991) yang diukur pada sampel tanah dalam ring sampler, sampel yang sama dengan yang digunakan pada pengukuran retensi air tanah. Pengukuran resistensi pengaliran udara dilakukan pada potensial matriks -5 dan -20 kPa.

Pengukuran dilaksanakan dengan menggunakan peralatan seperti pada Gambar 5.6, terdiri dari ring sampler yang berisi tanah utuh, yang bagian bawahnya dihubungkan dengan pipa udara dan pada ujung pipa udara yang lain dihubungkan dengan pompa vacum. Sampel tanah tersebut diberi hisapan sebesar 10 kPa dengan menggunakan pompa vacum. Naik turunnya muka air pada papan skala menggambarkan besarnya resistensi pengaliran udara.

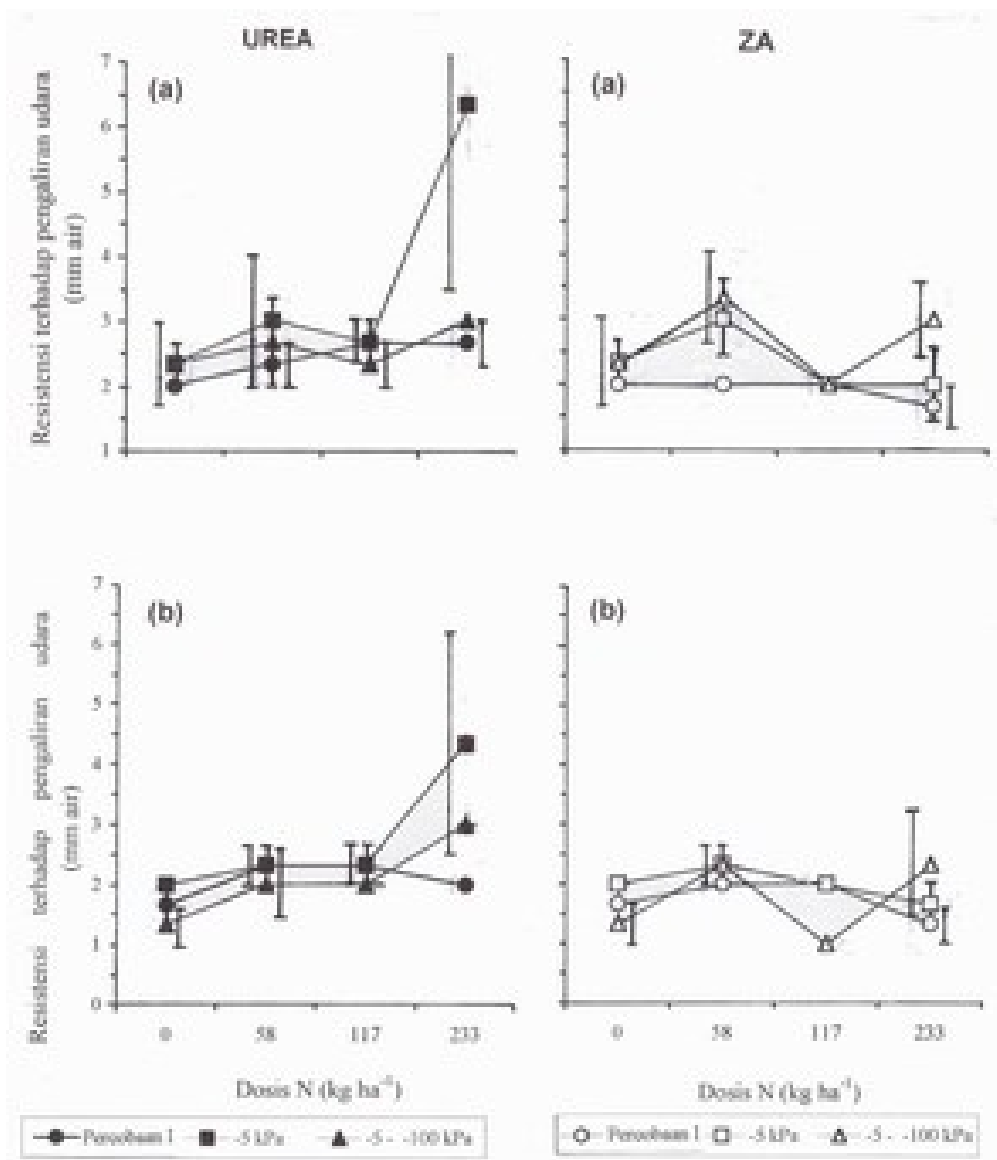


Gambar 6.6. Alat pengukuran resistensi pengaliran udara.

Hasil pengamatan resistensi pengaliran udara (RPU) disajikan pada Gambar 5.7. Perbandingan antara hasil pengamatan pada daerah perakaran dalam radius < 4 cm dari batang dengan radius antara 4 sampai 10 cm dari batang serta percobaan 1 disajikan pada Gambar 5.7a dan 5.7b. Secara umum, pemupukan dengan urea yang disertai pengendalian regim air memberikan nilai RPU yang tinggi dibandingkan pemupukan dengan ZA.

Hasil pengamatan pada sampel dengan $\psi_m -5$ kPa (Gambar 5.7a), menunjukkan bahwa, pemupukan dengan urea yang disertai pengendalian regim air pada $\psi_m \pm -5$ kPa memberikan RPU tertinggi, dan berbeda nyata dengan perlakuan lainnya, hanya pada dosis 233 kg N ha⁻¹. Pada pemupukan dengan ZA, pengendalian regim air pada $\psi_m \pm -5$ kPa memberikan RPU tertinggi. Kedua perlakuan berbeda nyata dengan hasil percobaan 1, hanya pada dosis 58 kg N ha⁻¹.

Hasil pengamatan pada sampel dengan $\psi_m -20$ kPa (Gambar 5.7b), menunjukkan bahwa, pemupukan dengan urea yang disertai pengendalian regim air pada $\psi_m \pm -5$ kPa memberikan RPU tertinggi. Kedua Perlakuan berbeda nyata dengan hasil percobaan 1, hanya pada dosis 233 kg N ha⁻¹. Sementara pada ZA, perlakuan $\psi_m \pm -5$ kPa cenderung memberikan RPU terendah, walaupun tidak konsisten. Kedua perlakuan berbeda nyata dengan hasil percobaan 1, hanya pada dosis 117 kg N ha⁻¹. Secara grafis, pengamatan pada sampel dengan $\psi_m -20$ kPa memberikan RPU yang lebih rendah dibanding pengamatan pada sampel $\psi_m -5$ kPa (Gambar 5.7a).



Gambar 6.7 Pengaruh pemberian urea dan amonium sulfat serta pengendalian regim air terhadap resistensi pengaliran udara (RPU), yang diamati pada sampel dengan regim air: (a) $\psi_m -5$ kPa dan (b) $\psi_m -20$ kPa.

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa, pemupukan dengan urea yang disertai pengendalian regim air memberikan nilai RPU yang

tinggi dibandingkan pemupukan dengan ZA (Gambar 5.7). Tingginya nilai RPU pada pemupukan dengan urea disebabkan karena adanya liat yang terdispersi, yang dapat menutupi pori penghantar udara yang menembus matriks tanah (Tisdall dan Oades, 1982). Tertutupnya pori penghantar udara oleh liat, berdampak pada menurunnya volume ruang pori dan kontinuitas pori, sehingga laju difusi gas (Currie, 1984; Shimamura, 1992) dan konduktivitas udara (Kirby, 1991) menjadi menurun.

Akar tanaman, untuk pertumbuhan yang normal membutuhkan oksigen dalam jumlah yang banyak. Sementara, pergerakan oksigen melalui air sangat lambat, sehingga dibutuhkan adanya pori yang kontinu berisi udara untuk mendukung pertumbuhan tanaman. Suplai oksigen terhadap akar tergantung beberapa faktor yang kompleks mencakup kontinuitas, liku-liku, ukuran, dan jarak pori (Dexter, 1988).

Pengamatan pada sampel tanah dengan potensial matriks -5 kPa (Gambar 5.7a) menunjukkan bahwa, pengendalian regim air pada potensial matriks ± -5 kPa pada urea, memberikan RPU yang tertinggi dan berbeda nyata dengan perlakuan lainnya pada dosis 233 kg N ha^{-1} . Tingginya RPU pada pengendalian regim air pada $\psi_m \pm -5$ kPa, disebabkan karena tingginya kadar air tanah dan akibat liat yang terdispersi. Hal ini sesuai dengan pendapat Shimamura (1992) bahwa, penambahan air dapat menurunkan konduktivitas udara, pada tanah yang saluran udaranya tidak kontinu. Hal yang sama, juga terjadi pada pengamatan pada sampel tanah dengan $\psi_m -20$ kPa.

Pemupukan dengan ZA diharapkan dapat mengatasi masalah penurunan konduktivitas udara. Pupuk ZA dengan efek flokulasinya diharapkan dapat memperbaiki struktur tanah, terutama yang

berkaitan dengan konduktivitas udara. Beberapa peneliti mengekspresikan laju difusi gas dan konduktivitas udara sebagai fungsi porositas udara, dimana fraksi volume adalah ruang pori tersisi udara (Bakker dan Hidding, 1970, Troeh et al., 1982 *dikutip oleh* Shimamura, 1992). Menurunnya volume ruang pori tanah disebabkan karena hilangnya pori makro tanah (Blackwell dan Kirby, 1988 *dikutip oleh* Kirby, 1991). Lebih lanjut, Kirby (1991) mengemukakan bahwa, perubahan volume ruang pori tanah berdampak kepada rongga dan susunan pori, terutama kontinuitas yang mempengaruhi konduktivitas udara. Groenevelt dan Lemoine (1987 *dikutip oleh* Kirby, 1991) dan Blackwell et al. (1990) mendapatkan bahwa konduktivitas udara tergantung dari struktur ruang pori makro tanah.

Pemupukan dengan urea yang terus menerus dengan dosis tinggi, juga mengakibatkan tanah menjadi kompak dan terjadi peningkatan BD. Pengompakan atau tingginya nilai BD berdampak negatif terhadap konduktivitas udara dan difusi gas (Currie, 1984; Shimamura, 1992; Letey, 1985). Hal ini sesuai yang diperoleh Currie (1984) bahwa, pengompakan menurunkan laju difusi gas sampai 38 %, dan kandungan udara tanah menurun sebesar 24 %.

Pengaruh penanaman tomat dalam percobaan ini, belum memberikan hasil yang maksimum. Berdasarkan pengamatan, pada pemupukan urea dengan dosis tinggi (233 kg N ha⁻¹), belum mampu menurunkan RPU, hal ini disebabkan karena pada saat pengamatan masih banyak akar yang belum melapuk. Akar-akar hidup ini memberikan tekanan pada tanah dan menurunkan volume ruang pori (Ley dan Barley, 1958 *dikutip oleh* Hamblin, 1985), yang berdampak pada rendahnya konduktivitas udara. Lapuknya akar-akar tersebut

diharapkan dapat meningkatkan pori makro tanah, yang berdampak positif terhadap konduktivitas udara.

5. Distribusi ukuran agregat

Pengukuran distribusi ukuran agregat dalam bentuk proporsi agregat kumulatif (PAK) dilakukan di laboratorium pada sampel yang sama dari sampel yang digunakan pada pengamatan resistensi pengaliran udara. Sebelum pengamatan distribusi ukuran agregat, sampel tanah dalam ring sampler dengan potensial matriks -20 kPa, terlebih dahulu diberi perlakuan *drop shatter-test* (Marshall dan Quirk, 1959, Ingles, 1983, Hadas 1984 *dikutip oleh* Dexter, 1988), yaitu dengan cara mengeluarkan tanah dari ring sampler dengan sangat hati-hati, kemudian dijatuhkan pada ketinggian satu meter.

Agregat yang dihasilkan melalui *drop shatter-test* tersebut, diayak pada ayakan dengan diameter lubang 2, 5, 10, dan 20 mm. Agregat yang tertambat pada masing-masing ayakan ditimbang untuk menghitung proporsi relatif ukuran partikel. Proporsi relatif ukuran partikel dihitung dengan menggunakan parameter yang disebut *mean weight diameter* (MWD) (van Bavel, 1949).

$$MWD = \frac{\sum_{i=1}^n X_i \cdot W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \dots\dots\dots(3)$$

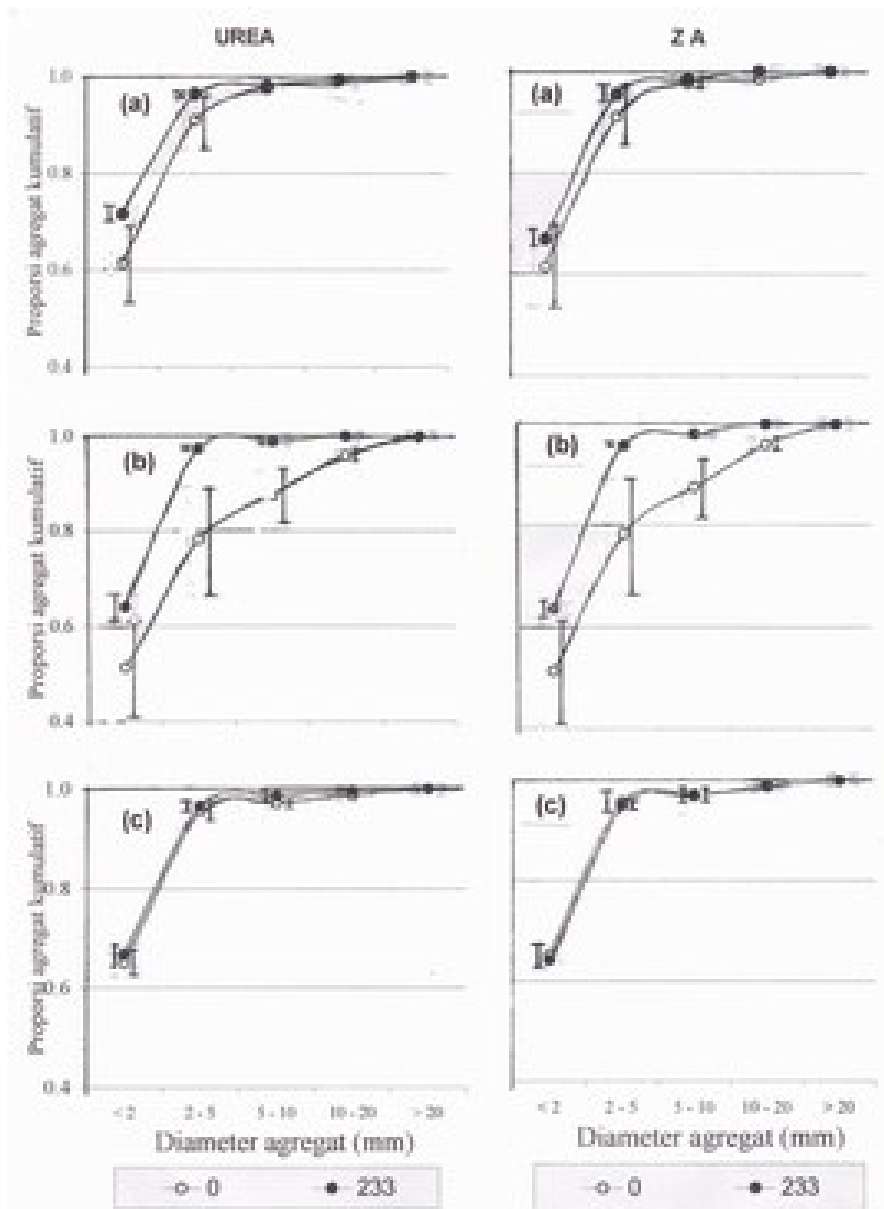
Dimana, X_i adalah diameter rata-rata (antara dua ukuran agregat) dan W_i adalah berat sampel berdiameter i . Nilai PAK merupakan hasil perbandingan kumulatif berat agregat ukuran tertentu terhadap berat total agregat.

Pengamatan distribusi ukuran agregat, dalam bentuk PAK disajikan pada Gambar 5.8 dengan membandingkan dosis 0 dengan 233 kg N ha⁻¹. Perbandingan hasil pengamatan pada percobaan 1, regim air pada $\psi_m \pm -5$ kPa, dan regim air pada $\psi_m \pm -5$ sampai -100 kPa disajikan pada Gambar 5.8a,b,c. Secara umum, pemupukan dengan ZA memberikan nilai PAK yang lebih rendah.

Hasil pengamatan pada percobaan 1 disajikan pada Gambar 5.8a terlihat bahwa, pemupukan dengan urea dosis 233 kg N ha⁻¹ memberikan PAK yang berbeda nyata dengan 0 kg N ha⁻¹, hanya pada diameter agregat < 2 mm. Pemupukan dengan ZA dosis 233 kg N ha⁻¹ memberikan PAK yang berbeda tidak nyata dengan 0 kg N ha⁻¹ pada semua kisaran diameter agregat.

Hasil pengamatan pada pengendalian regim air pada $\psi_m \pm -5$ kPa disajikan pada Gambar 5.8b. Pemupukan dengan urea dosis 233 kg N ha⁻¹ memberikan PAK yang berbeda nyata dengan 0 kg N ha⁻¹, kecuali pada diameter agregat < 2 mm, sedangkan pemupukan dengan ZA dosis 233 kg N ha⁻¹ memberikan PAK yang berbeda nyata dengan 0 kg N ha⁻¹, pada semua kisaran diameter agregat. Secara grafis, PAK yang diperoleh pada pengendalian regim air pada $\psi_m \pm -5$ kPa (Gambar 5.8b) lebih proporsional dibanding percobaan bagian I (Gambar 5.8a).

Pengamatan pada regim air $\psi_m -5$ sampai -100 kPa (Gambar 5.8c), baik pada pemupukan dengan urea maupun ZA, semua perlakuan memberikan PAK yang berbeda tidak nyata. Secara umum, grafik pada Gambar 5.8c lebih berhimpit dibanding Gambar 5.8a dan b.



Gambar 6.8. Pengaruh pemberian urea dan amonium sulfat serta pengendalian regim air terhadap proporsi agregat kumulatif (PAK), yang diamati pada: (a) Percobaan 1, (b) Regim air pada $\psi_m \pm -5$ kPa serta ditanami tomat, dan (c) Regim air pada $\psi_m -5$ sampai -100 kPa serta ditanami tomat.

Hasil pengamatan distribusi ukuran agregat, dalam bentuk PAK (Gambar 5.8). Secara umum menunjukkan bahwa, pemupukan dengan ZA cenderung memberikan PAK yang lebih rendah dibandingkan pemupukan dengan urea. Rendahnya nilai PAK merupakan indikasi adanya reagregasi, hal ini disebabkan oleh adanya pengaruh flokulasi yang ditimbulkan oleh ZA (Tisdall dan Oades, 1982; Dexter, 1988).

Agregat yang berukuran < 2 dan $2 - 5$ mm pada semua pengamatan, kelihatan masih mendominasi distribusi ukuran agregat, berkisar 50 – 90 % dari total berat agregat. Agregat ini sangat penting artinya, Donald et al. (1987 *dikutip oleh* Passioura, 1991) mendapatkan bahwa tanaman tumbuh dengan baik pada agregat yang lebih kecil, seperti jagung tumbuh dengan baik pada pot yang berisi agregat 1 – 6 mm. Misra et al. (1988 *dikutip oleh* Passioura, 1991) juga mendapatkan bahwa, kapas dan bunga matahari tumbuh baik pada agregat 1 – 5 mm. Lebih lanjut, Russel (1973 *dikutip oleh* Dexter, 1988) menyatakan bahwa, agregat 1 – 5 mm optimum untuk pesemaian.

Agregat yang terbentuk pada percobaan tanpa tanaman, khususnya pada pemupukan dengan urea disebabkan adanya substrat bahan organik dari hipa fungi dan mikroba polysakarida (Harris et al., 1966; Tisdall, 1991). Hal ini, juga didukung oleh Saini dan MacLean (1966), Elliot dan Coleman (1988), Gupta dan Germida (1988), Chenu (1989) *dikutip oleh* Tisdall (1991) yang mendapatkan bahwa, hipa fungi membentuk agregat yang distabilisasi oleh hipa atau mikroorganisma lain melalui bahan amorf polysakarida. Aspiras et al. (1971 *dikutip oleh* Tisdall, 1991) dan Tisdall dan Oades (1980) juga mengemukakan bahwa, hipa fungi membentuk dan mengstabilkan makroagregat baru melalui polysakarida dengan sistem *extracellular polysaccharides*, dan

juga berdasarkan temuan Linch dan Bragg (1985 *dikutip oleh* Tisdall, 1991) yang mendapatkan bahwa, mikroorganisma dan produknya mengstabilkan agregat.

Hasil pengamatan pada percobaan dengan pengendalian regim air pada potensial matriks ± -5 kPa menunjukkan adanya peningkatan PAK berukuran 5 – 20 mm, dan berbeda nyata dengan kontrol, sementara agregat < 2 dan 2 – 5 mm tetap dominan, walaupun proporsinya menurun.

Peningkatan agregat 5 – 20 mm, diduga kuat akibat keberadaan hipa fungi yang jumlahnya besar, yang disebabkan karena adanya regim air yang relatif konstan (± -5 kPa) yang memicu pertumbuhan fungi. Selain fungi, akar juga mempunyai peranan yang besar, seperti yang didapatkan oleh Oades dan Waters (1991) dan Elliot dan Coleman (1988 *dikutip oleh* Tisdall, 1991) mendapatkan bahwa, akar-akar hidup dan hipa secara fisik menyusun makroagregat, walaupun akar-akar ini telah mati. Juga ditambahkan bahwa, akar tidak hanya memberi residu bahan organik yang dapat lapuk, tetapi juga mendukung populasi mikroba dalam rhizosfir (Coughlan, 1973, Clarke et al, 1967, Forster, 1979 *dikutip oleh* Tisdall dan Oades, 1982).

Melalui uji *drop shatter-test*, agregat ukuran > 10 mm mempunyai proporsi yang sangat kecil dibandingkan agregat ukuran 1 – 10 mm, hal ini disebabkan karena agregat yang berukuran besar mempunyai kekuatan tanah yang rendah (Oades dan Waters, 1991), hal ini berhubungan dengan kandungan pori yang lebih besar, dimana agregat yang besar mempunyai stabilitas yang rendah dibandingkan agregat yang kecil.

Stabilitas makroagregat, menurut Tisdall dan Oades (1982) dikendalikan oleh akar dan hipa (bahan organik). Hal ini, didukung oleh beberapa peneliti yang mendapatkan adanya korelasi antara kandungan C-organik dengan stabilitas agregat (Stricking, 1950, Kemper dan Koch, 1966, Williams, 1970, Grierson, 1975, dikutip oleh Tisdall dan Oades, 1982; Tisdall dan Oades, 1980). Ditambahkan pula bahwa, stabilitas kadang-kadang berkorelasi sangat baik dengan bahan organik bebas dibandingkan C-organik total, karena bagian ini merupakan suatu substrat dari mikroba, dan atau akar dan hipa. Menurut Kay (1990), Tisdall dan Oades (1982) dan Jastrow (1987 *dikutip oleh* Tisdall, 1991) bahwa, makroagregat tanah biasanya menjadi lebih stabil setelah ditumbuhi tanaman, seiring dengan meningkatnya jumlah bahan organik dalam tanah. Secara detail, hal ini dikaitkan dengan panjang akar yang berpengaruh terhadap total bahan organik atau karbohidrat yang dilepaskan ke dalam tanah dan biomassa mikroba (Tisdall dan Oades, 1979, Davenport dan Thomas, 1988, Stone dan Buttery, 1989 *dikutip oleh* Tisdall, 1991; Lynch, 1984). Hal ini, diperkuat oleh White et al. (1989 *dikutip oleh* Tisdall, 1991) bahwa, pada tanah-tanah peternakan mempunyai lapisan atas yang sangat stabil karena adanya akar-akar halus, bahan organik dan fungi, dan seiring dengan waktu, akar-akar dan organisma pada rhizosfir berkembang ke lapisan yang lebih dalam, dan menjadikan tanah lebih stabil.

Akar dan hipa merupakan agen pengikat temporer yang berkembang dalam tanah, yang bertahan dalam jangka waktu yang singkat (Oades, 1979; 1982, *dikutip oleh* Tisdall dan Oades, 1982). Meskipun individu hipa tidak kuat, tetapi jika berkombinasi dengan

akar-akar halus membentuk jaringan tiga dimensi, maka partikel akan dipegang dengan kekuatan yang sama ke segala arah, sehingga tidak terjadi *slaking*, ketika terjadi pembasahan secara cepat (Tisdall dan Oades, 1982). Agen pengikat temporer mengstabilkan makroagregat (Hubbell dan Chapman, 1946, *dikutip oleh* Tisdall dan Oades, 1982; Harris et al., 1966), hal ini dimungkinkan, karena akar dan hipa relatif tumbuh menyebar pada pori yang lebih besar (Jackson, 1975, Marshall, 1976, *dikutip oleh* Tisdall dan Oades, 1982), dimana jika tanah terdrainase bagus selama musim basah, fungi terlihat tumbuh pada pori-pori yang besar (Hatori, 1973 *dikutip oleh* Tisdall dan Oades, 1982).

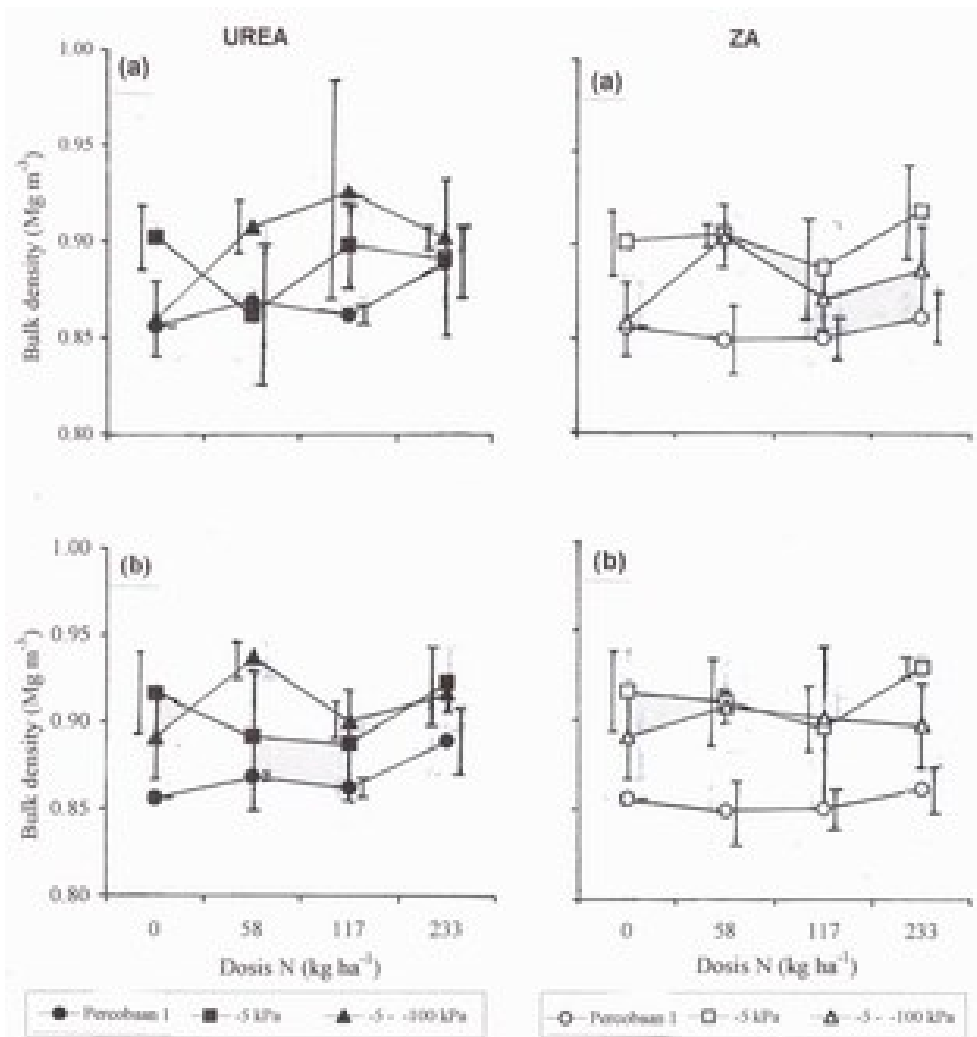
Akar dan hipa yang sangat berperan dalam stabilitas agregat, dimana keberadaannya sangat ditentukan oleh praktek pertanian. Tisdall dan Oades (1980; 1982) menekankan bahwa pengelolaan tanah sangat menentukan keberadaan akar dan hipa. Salah satu contoh, pengolahan tanah yang merusak atau memutuskan jaringan akar dan hipa yang tidak mengstabilkan agregat (Tisdall, 1991). Dengan rusaknya/matinya akar dan hipa tersebut, stabilitas makroagregat menurun seiring dengan laju dekomposisi akar dan hipa tersebut. Pengelolaan tanah yang memelihara kestabilan makroagregat mutlak diperlukan, karena struktur tanah yang bagus akan meningkatkan kesuburan tanah dan perkembangan tanaman (Tisdall dan Oades, 1982).

6. Bulk density

Hasil pengamatan bulk density (BD) disajikan pada Gambar 5.9. Perbandingan antara hasil pengamatan pada daerah perakaran dalam radius < 4 cm dengan radius antara 4 sampai 10 cm disajikan pada Gambar 5.9a dan 5.9b. Secara umum, data menunjukkan bahwa pemupukan dengan urea dan pengendalian regim air, memberikan nilai BD yang tinggi dibandingkan pemupukan dengan ZA.

Hasil pengamatan pada daerah perakaran dalam radius < 4 cm dari batang (Gambar 5.9a), menunjukkan bahwa pemupukan dengan urea yang disertai dengan pengendalian regim air pada $\psi_m -5$ sampai -100 kPa, memberikan BD tertinggi. Semua perlakuan memberikan hasil yang berbeda tidak nyata. Pada pemupukan dengan ZA, pengendalian regim air $\psi_m \pm -5$ kPa memberikan BD tertinggi. Kedua perlakuan berbeda nyata dengan Percobaan 1, hanya pada dosis 58 kg N ha^{-1} .

Hasil pengamatan pada daerah perakaran dalam radius antara 4 sampai 10 cm dari batang (Gambar 5.9b) menunjukkan bahwa, pemupukan dengan urea yang disertai dengan pengendalian regim air $\psi_m -5$ sampai -100 kPa, memberikan BD tertinggi dan berbeda nyata dengan percobaan bagian I. Pada pemupukan dengan ZA, pengendalian regim air pada $\psi_m \pm -5$ kPa memberikan BD tertinggi dan berbeda nyata dengan dengan percobaan 1. Secara grafis pengamatan pada daerah perakaran dalam radius antara 4 sampai 10 cm dari batang memberikan BD yang lebih tinggi dibanding pengamatan pada daerah perakaran dalam radius < 4 cm dari batang.



Gambar 6.9 Pengaruh pemberian urea dan amonium sulfat serta pengendalian regim air terhadap bulk density (BD), yang diamati pada: (a) Daerah perakaran dalam radius <math>< 4\text{ cm}</math> dari batang dan (b) Daerah perakaran dalam radius antara 4 sampai 10 cm dari batang.

Hasil pengamatan BD disajikan pada Gambar 5.9. Secara umum menunjukkan bahwa, pemupukan dengan urea dan pengendalian regim air cenderung memberikan nilai BD yang tinggi. Naiknya nilai

BD tersebut disebabkan oleh adanya liat yang terdispersi akibat pemupukan urea (Tisdall dan Oades, 1982) dan akibat pembasahan (Russel, 1938 *dikutip oleh* Harris et al., 1966), yang akan mengisi dan menutupi pori tanah (Dexter, 1988). Dengan berkurangnya pori makro dan aerasi, akan terjadi peningkatan BD, kekuatan tanah, dan pengompakan tanah (Gusli, 1998). Peningkatan BD tanah, secara umum diterima sebagai indikator rusaknya struktur tanah (Coughlan et al., 1991).

Informasi BD tanah sangat penting, mengingat peranannya dalam hal hubungan antara tanah, air, udara, dan tanaman. Seperti pertumbuhan akar tanaman dan hambatan mekanik, penggunaan air, pengambilan hara, suplai oksigen, dan akumulasi karbon dioksida. Letey (1985) mendapatkan bahwa, dengan meningkatnya BD, suplai oksigen akan menurun. Currie (1984) dan Shimamura (1992) mendukung hal tersebut, yang mendapatkan bahwa peningkatan BD (pengompakan) memperlambat laju difusi gas.

Secara umum pengompakan atau peningkatan BD merusak struktur tanah. Indikasi yang sangat jelas adalah menurunnya total pori tanah. Jika terjadi pengompakan, maka ruang pori tanah menurun secara drastis akibat rusaknya makro dan mikro struktur (Sapozhnikov et al., 1987).

Pengaruh sistem budidaya tanaman, diharapkan dapat menurunkan BD, walaupun disisi lain, BD yang tinggi merupakan pembatas pertumbuhan tanaman. Melalui sistem perakaran yang terbentuk, diharapkan akan tercipta total ruang pori yang lebih besar, setelah akar melapuk (Hamblin, 1985). Begitu juga pemupukan dengan ZA, dengan efek flokulasinya juga diharapkan dapat menciptakan

ruang pori yang lebih besar yang dapat menurunkan BD (Tisdall dan Oades, 1982; Dexter, 1988).

Untuk pertumbuhan yang normal, tanaman membutuhkan nilai BD yang rendah, atau dengan kata lain mempunyai kekuatan tanah yang rendah, yang dapat ditembus oleh akar. Bulk density yang tinggi akan menghambat pertumbuhan tanaman, seperti yang diperoleh Letey (1985) pada tanaman tomat, dimana pertumbuhan akar dan bagian atas tanaman menurun dengan meningkatnya BD. Khusus tanaman tomat, Rickman et al. (1965 *dikutip oleh* Letey, 1985) mendapatkan bahwa akar tanaman tomat masih dapat tumbuh dengan baik pada BD $1,32 \text{ Mg m}^{-3}$ dan masih dapat berkembang meskipun BD tanah mencapai $1,75 \text{ Mg m}^{-3}$ (Rickman et al., 1965 *dikutip oleh* Grable, 1966) dengan penetrasi sampai 120 cm, jika tanpa hambatan mekanik (McLaren dan Cameron, 1993).

7. Efektivitas sistem perakaran, pengendalian regim air, dan pemupukan dengan ZA dalam proses reagregasi

Dari seluruh hasil pengamatan, terlihat bahwa dengan penanaman tomat, proses reagregasi berjalan dengan baik. Hal ini, terlihat melalui pengaruhnya terhadap RAT, PPK, Ks, BD, RPU, dan PAK. Walaupun secara statistik, secara umum belum memperlihatkan adanya perubahan yang berbeda nyata.

Tanaman tomat termasuk tanaman yang toleran terhadap garam. Menurut Lunt (1965), tanaman tomat mengandung 0,6 sampai 20,5 me 100 g^{-1} bahan kering dan masih tumbuh dengan normal pada tanah yang mengandung natrium 16,7 me 100 g^{-1} . Lebih lanjut,

ditegaskan bahwa nilai ESP sampai 28, tidak menurunkan pertumbuhan dibandingkan tanaman lain seperti jagung yang produksinya menurun sampai 80 % pada ESP 27. Landon (1984) menegaskan bahwa tanaman tomat masih toleran pada ESP 40 sampai 60 dan ECe 10 mS m⁻¹. Pada kisaran ESP ini pertumbuhan tanaman tomat terganggu biasanya karena kondisi sifat fisik tanah yang memburuk. Berdasarkan data ESP tanah yang digunakan yaitu 0,64 %, maka pengaruh ESP dianggap tidak berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman tomat.

Berdasarkan kebutuhan nitrogen, tanaman tomat termasuk tanaman yang membutuhkan N yang besar. Menurut Jones (1965), tomat mengandung 0,20 sampai 0,25 % N terlarut per berat segar. Kebutuhan N tomat yaitu 310 sampai 323 kg N ha⁻¹ yang setara dengan 665 sampai 693 kg urea ha⁻¹, dan untuk mendapatkan produksi tomat sebesar 65 ton per hektar dibutuhkan N sebesar 318 kg N (Glendinning, 1986).

Efektivitas budidaya tanaman dalam proses reagregasi, menurut Zakharov (1927 *dikutip oleh* Islami dan Utomo, 1995) lebih ditekankan kepada aktivitas perakaran tanaman, sebagai salah satu faktor utama pembentuk agregat tanah. Hal ini, diperkuat oleh Harris et al., (1966) bahwa, pembentukan agregat tanah dipengaruhi oleh sistem perakaran, dan kemampuannya menghasilkan bahan organik.

Sistem perakaran tanaman, secara umum dibedakan menjadi dua bagian, yaitu sistem perakaran monokotil dan sistem perakaran dikotil. Tanaman tomat yang tergolong tanaman dikotil, mempunyai akar yang berkambium dan bertambah besar sesuai perkembangan tanaman, yang terdiri akar tunggang dan beberapa akar cabang.

Perakaran tanaman tomat tergolong bagus, karena mempunyai jaringan yang banyak dan dapat mencapai kedalaman sampai 120 cm, jika tanpa hambatan mekanik (McLaren dan Cameron, 1993). Menurut Islami dan Utomo (1995), sistem perakaran menyangkut beberapa faktor seperti: jumlah perakaran (akar tunggang, cabang, dan bulu/rambut akar), panjang akar, volume akar, kedalaman perakaran, penyebaran perakaran, dan umur perakaran.

Rambut akar, selain mengabsorpsi hara dan air, juga berfungsi sebagai organ sekresi tanaman. Bahan yang dikeluarkan oleh akar yang disebut eksudat, jumlah dan jenisnya bervariasi. Russel (1977 *dikutip oleh* Islami dan Utomo, 1995) membagi eksudat menjadi lima kelompok utama, yaitu: Karbohidrat, asam amino, asam organik, enzim, dan senyawa lain. Eksudat dan akar yang mati didekomposisi menjadi bahan yang mampu mengikat butir-butir tanah menjadi agregat (Islami dan Utomo, 1995).

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa, daerah perakaran dalam radius < 4 cm dari batang mempunyai tingkat reagregasi yang lebih baik dibandingkan daerah perakaran dalam radius antara 4 sampai 10 cm dari batang. Hal ini, sesuai dengan yang diperoleh Tisdall dan Oades (1980) bahwa, agregasi butir tanah kebanyakan berada di sekitar akar. Tingginya tingkat agregasi pada daerah sekitar akar, berhubungan dengan besarnya eksudat yang dikeluarkan. Hal ini, didukung oleh pendapat Islami dan Utomo (1995) bahwa, penyebaran akar ke arah vertikal dan horisontal, serta jumlah cabang akar menentukan keberhasilan suatu tanaman, termasuk kemampuan menghasilkan eksudat ke dalam tanah, yang akan mendukung proses reagregasi.

Pengaruh pengendalian regim air dan pemupukan dengan ZA, dari seluruh hasil pengamatan terbukti dapat meningkatkan proses reagregasi, Hal ini, terlihat melalui pengaruhnya terhadap RAT, PPK, Ks, BD, RPU, dan PAK, walaupun secara umum, belum memperlihatkan perubahan yang berbeda nyata secara statistik.

Aplikasi penyiraman (pembasahan) pada pengendalian regim air dapat merusak struktur tanah, sebaliknya pengeringan setelah penyiraman diharapkan dapat membantu pembentukan struktur tanah. Hal ini, didukung oleh White (1966, 1967), van de Graff (1978), dan Russel (1977) yang semuanya *dikutip oleh* Islami dan Utomo (1995) bahwa, pengembangan dan pengerutan karena pembasahan dan pengeringan merupakan salah satu faktor utama dalam pembentukan agregat tanah.

Pemupukan dengan ZA menyebabkan terjadinya flokulasi. Flokulasi merupakan dasar terpeliharanya stabilitas struktur tanah (Tisdall dan Oades, 1982; Dexter, 1988). Menurut Islami dan Utomo (1995) bahwa, teori pembentukan agregat tanah berdasarkan flokulasi, dapat terjadi pada tanah yang berada dalam larutan, misalnya pada tanah yang agregatnya telah dihancurkan oleh air hujan.

Melalui proses *basah-kering* (Russel, 1938 *dikutip oleh* Harris et al., 1966) dan flokulasi diharapkan terbentuk pori penghantar air / makro (Warkentin, 1971), sehingga akar dapat tumbuh dengan baik (Russell, 1977; Passioura, 1991), daya retensi air tanah akan meningkat (Warkentin, 1971), laju difusi gas / konduktivitas udara (Currie, 1984; Shimamura, 1992; Kirby, 1991) menjadi meningkat. Dengan terbentuknya pori makro, maka struktur tanah akan berfungsi lebih baik dalam hal hubungan tanah, air, dan tanaman, seperti yang

dikemukakan oleh Dexter (1988) bahwa, struktur tanah mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap keseimbangan air tanah. Hal tersebut, didukung oleh Low (1954) yang mendapatkan bahwa, struktur tanah sangat menentukan pergerakan air, retensi air, dan aerasi serta mudahnya penetrasi akar. Lebih lanjut, Kay et al. (1988) menyatakan bahwa, struktur tanah mengendalikan sifat fisik tanah, seperti ketersediaan air untuk tanaman, aerasi, dan temperatur yang sangat berhubungan dengan akar.

BAB 7 PENUTUP

Terdapat beberapa hal ilmu baru yang dapat diambil setelah melakukan percobaan dan menelaah hasilnya, yaitu sebagai berikut:

1. Pemupukan dengan urea dibandingkan pemupukan dengan ZA, pada percobaan bagian I menurunkan kualitas struktur tanah, karena menurunkan konduktivitas hidrolis (K_s), proporsi pori kumulatif (PPK), proporsi agregat kumulatif (PAK) ukuran ≥ 2 mm, serta meningkatkan resistensi pengaliran udara (RPU) dan bulk density (BD) tanah.
2. Tanah dengan perlakuan pengendalian regim air -5 sampai -100 kPa dan ditanami tomat, pada pemupukan dengan urea memberikan hasil yang lebih baik, karena meningkatkan PAK, PPK, RAT, K_s pada potensial matriks -20 kPa, dan juga menurunkan RPU pada potensial matriks -20 kPa.
3. Budidaya tanaman tomat dapat meningkatkan proses reagregasi dalam rangka perbaikan struktur tanah yang sebelumnya terdispersi oleh urea. Hal ini terlihat pada pengaruhnya terhadap RAT, PPK, K_s , BD, dan RPU, walaupun secara statistik belum memperlihatkan adanya perubahan yang berbeda nyata, kecuali pada PAK yang memberikan hasil yang berbeda nyata.

Hal lain yang bisa menjadi rekomendasi dari hasil penelitian ini, adalah:

1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa, budidaya tanaman, pengendalian regim air, dan pemupukan dengan ZA dapat meningkatkan terjadinya reagregasi. Untuk itu, dalam upaya perbaikan struktur tanah yang terdegradasi oleh urea, maka perlu penerapan teknik budidaya tanaman dan pengendalian regim air yang tepat. Sementara, pemakaian pupuk ZA sebagai pupuk alternatif N, juga dapat dipertimbangkan.
2. Untuk mengetahui lebih jauh pengaruh pengendalian regim air dan pengaruh tanaman terhadap reagregasi, maka dianjurkan melakukan penelitian dengan menggunakan beberapa kisaran regim air dan dengan jenis tanaman yang lain utamanya tanaman dikotil yang mempunyai sistem perakaran lateral, seperti tanaman kedelai.

DAFTAR PUSTAKA

- Baver, L.D., W.H. Gardner and W.R. Gardner. 1972. *Soil Physics*. John Wiley, New York.
- Blackwell, P.S., A.J. Ringrose-Voase, N.S. Jayawardene, K.A. Olsson, D.C. McKenzie and W.K. Mason. 1990. The use air-filled porosity and intrinsic permeability to air to characterize structure of macropore space and saturated hydraulic conductivity of clay soils. *J. Soil Sci.* 41: 215 – 228
- Bridge, B.J. and A.J. Rixon. 1976. Oxygen uptake and respiratory quotient of field soil cores in relation to their air-filled pore space. *J. Soil Sci.* 27: 279 – 286.
- Carlson, C.W. 1979. Research in ARS related to soil structure. *In*: W.W. Emerson et al. (eds). *Modification of Soil Structure*. John Wiley, New York. p: 279 – 284.
- Cass, A., S. Gusli and D.A. MacLeod. 1994. Sustainability of soil structure quality in rice paddy – soyabean cropping systems in South Sulawesi, Indonesia. *Soil and Tillage Res.* 31: 339 – 352.
- Cassel, D.K. and D.R. Nielsen. 1986. Field capacity and available water capacity. *In*: Klute (ed.). *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. 2nd. Agron. No. 9, Amer. Soc. of Agron., WI, USA. p: 901 – 926.
- Coughlan, K.J., D. McGarry, R.J. Loch, B. Bridge and G.D. Smith. 1991. The measurement of soil structure – some practical initiatives. *Aust. J. Soil Res.* 29: 869 – 889.
- Currie, J.A. 1984. Gas diffusion through soil crumbs: the effects of compaction and wetting. *J. Soil Sci.* 35: 1 – 10.
- Dexter. 1988. Advances in characterization of soil structure. *Soil and Tillage Res.* 11: 199 – 288.

- Donahue, L.R., W.R. Miller and C.J. Shickluna. 1983. *Soils: An Introduction to Soils and Plant Growth*. Fifth Edition. Englewood Cliffs, New Jersey.
- Eavis. 1973. Soil physical condition affecting seedling root growth: 1. Mechanical impedance, aeration and moisture availability as influenced by bulk density and moisture level in a sandy loam soil. *Plant and Soil*. 36: 613 – 634.
- Emerson, W.W. 1977. Physical properties and structure. *In*: J.S. Russel and E.C. Greason (eds). *Soil Factors in Crop Production in A Semi-Arid Environment*. Univ. of Queensland, Queensland.
- . 1983. Interparticle bonding. *In*: *Soils: An Australian Viewpoint*. Div. of Soils, CSIRO. Academic Press, Melbourne. p: 477 – 498.
- . 1984. Soil structure in saline and sodic soil. *In*: I. Shainberg and J. Shallwet (eds.). *Soil Salinity Under Irrigation: Process and management*. Ecological Studies 51. Springer-Verlag, Berlin.
- . 1994. Aggregate slaking and dispersion class, bulk properties of soils. *Aust. J. Soil Res.* 1:173-184.
- Follet, R.H., L.S. Murphy and R.L. Donahue. 1981. *Fertilizers and Soil Science*. Blackwell, Oxford.
- Ghildyal, B.P. and R.P. Tripathi. 1987. *Soil Physics*. John Wiley, New York.
- Glendinnings, J.S. 1986. *Fertilizer Handbook*. Pubh. Australian Fertilizer Limited, Australia.
- Grable, A.R. 1966. Soil aeration and plant growth. *Adv. Agron.* 18: 57 – 106.
- Greenland, D.J., G.R. Lindstrom and J.P. Quirk. 1961. Role of polysaccharides in stabilisation of natural soil aggregates. *Nature*. 191: 1283 – 1284.

- Gusli, S. 1989. *Structural Collapse and Strength of Some Australian Soils in Relation to Hardsetting Behavior*. Master of Rural Science Thesis, The Univ. of The New England, Armidale, Australia.
- . 1995a. *The Dispersive Effect of Urea on Flooded Soils*. Department of Agronomy and Soil Science, The Univ. of The New England, Armidale, Australia.
- . 1995b. *Penuntun Praktikum Fisika Tanah*. Jurusan Ilmu Tanah Fakultas Pertanian dan Kehutanan Univ. Hasanuddin, Ujung Pandang.
- . 1996. *Pengelolaan Struktur Tanah: Elemen kunci bagi produktivitas lahan kering*. Makalah pada seminar "Pengembangan pertanian lahan kering di Moramo", di Univ. Haluoleo Kendari, tanggal 13 –15 Juli 1996.
- . 1997. *Non-limiting water range sebagai penduga ketersediaan air aktual, perubahan struktur, dan indeks produktivitas tanah*. Prosiding Kongres Nasional VI HITI. Buku I. Himpunan Ilmu Tanah Indonesia. Hal. 217 – 226.
- . 1998. Change in physical properties of a weakly structured soil after twenty years of cultivation. *Indonesian J. Agr. Ext.* vol 2: 32 – 39.
- Hainun. 1997 *Dispersibilitas Beberapa Tanah Tropika Akibat Pemberian Urea* (Skripsi). Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian dan Kehutanan Univ. Hasanuddin, Ujung Pandang.
- Hakim, N., M.Y. Nyakpa, A.M. Lubis, S.G. Nugroho, M.R. Saul, M.A. Diha, G.B. Hong dan H.H. Bailey. 1986. *Dasar-Dasar Ilmu Tanah*. Univ. Lampung, Lampung.
- Hall, D.G.M., M.J. Recve, A.J. Thimasson and V.F. Wright. 1977. *Water Retention, Porosity and Density of Fields Soils*. Soil Survey Technical Monograph No. 9, Harpenden. p: 53 – 60.
- Hamblin, A.P. 1985. The influence of soil structure on water movement, crop growth and water uptake. *Adv. Agron.* 38: 95 – 155.

- Harris, R.F., G. Chesters and O.N. Allen. 1966. Dynamics of soil aggregation. *Adv. Agron.* 18: 107 – 169.
- Hartmann, R. and M. De Boodt. 1974. The influence of the moisture content, texture, and organic matter on the aggregation of sandy and loamy soils. *Geoderma.* 11: 53 – 62.
- Hillel, D. 1980. *Fundamentals of Soil Physics.* Academic Press, New York.
- Islami, T. dan W.H. Utomo. 1995. *Hubungan Tanah, Air, dan Tanaman.* IKIP-Semarang, Semarang.
- Jenkinson, D.S. and J.H. Reyner. 1977. The turnover of soil organic matter in some of Rothamsted classical experiments. *J. Soil Sci.* 123: 298 – 305.
- Jones, W.W. 1965. Nitrogen. *In:* H.D. Chapman (ed.). *Diagnostic Criteria for Plants and Soils.* Dept. of Soils and Plant Nutrition, Univ. California, California. p: 310 – 323.
- Kay, B.D. 1990. Rates of change of soil structure under different cropping systems. *Adv. Soil Sci.* 12: 1 – 52.
- Kay, B.D. and A.R. Dexter 1990. Influence of aggregate diameter surface area and antecedent water content on the dispersibility of clay. *Can. J. Soil Sci.* 70: 655 – 671.
- Kay, B.D., D.A. Angers, P.H. Groenevelt and J.A. Baldock. 1988. Quantifying the influence of cropping history on soil structure. *Can. J. Soil Sci.* 68: 359 – 368.
- Kerlinger, F.N. 1990. *Asas-Asas Penelitian Behavioral* (Terjemahan L.R. Simatupang). Gadjah Mada Univ. Press, Yogyakarta.
- Kirby, J.M. 1991. The influence of soil deformations on the permeability to air. *J. Soil Sci.* 42: 227 – 235.
- Klute, A. 1986. Water retention: Laboratory methods. *In:* A. Klute et al. (eds). *Methods of Soil Analysis.* Part I. 2nd. Agron. No. 9, Amer. Soc. of Agron., Madison, WI. USA. p: 635 – 662.

- Landon, J.R. 1984. *Booker Tropical Soil Manual*. Longman Inc., New York.
- Lee, K.E. and R.C. Foster. 1991. Soil fauna and soil structure. *Aust. J. Soil Res.* 29: 745 – 775.
- Letey, J. 1985. Relationship between soil physical properties and crop production. *Adv. Soil Sci.* 1: 277 – 294.
- Loveday, 1974. *Methods for analysis of irrigated soils*. Technical Communication No. 54, Commonwealth Agricultural Bureau, Victoria. p: 75 – 76.
- Low, A.J. 1954. The study of soil structure in the field and laboratory. *J. Soil Sci.* 5: 57 – 74.
- . 1955. Improvements in the structural state of soil undergrass leys. *J. Soil Sci.* 6: 179 – 199.
- . 1972. The effect of cultivation on the structure and other physical characteristic of grassland and arable soil (1945-1970). *J. Soil Sci.* 23: 363 – 380.
- Lunt, O.R. 1965. Sodium. *In*: H.D. Chapman (ed.). *Diagnostic Criteria for Plants and Soils*. Dept. of Soils and Plant Nutrition, Univ. California, California. p: 409 – 432.
- Lynch, J.M. 1984. Interactions between biological processes, cultivation and soil structure. *Plant and Soil.* 76: 307 – 328.
- Marshall, T.J. and J.W. Holmes. 1979. *Soil Physics*. Cambridge Univ. Press, London.
- Martin, J.P., W.P. Martin and W.A. Raney. 1997. Soil aggregation and fungal and bacterial biomass under annual and perennial cropping systems. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 50: 187 – 197.
- McLaren, R.G. and K.C. Cameron. 1993. *Soil Science*. Oxford Univ. Press, Oxford.
- Oades, J.M. 1984. Soil organic matter and structure stability: Mechanisms and implications for management. *Plant and Soil* 76: 319 – 333.

- Oades, J.M. and A.G. Waters. 1991. Aggregate hierarchy in soils. *Aust. J. Soil Res.* 29: 815 – 828.
- Olivia, F.G., R.L. Stanford and E. Kelly. 1999. Effect of slash and burn management on soil aggregate, organic C and N in a tropical deciduous forest. *Abst. Soil Sci. Alert.* 22: 8.
- Panabokke, C.R. and J.P. Quirk. 1957. Effect in initial water content on stability of soil aggregates in water. *Soil Sci.* 83: 185 – 195.
- Passioura, J.B. 1991. Soil structure and plant growth. *Aust. J. Soil Res.* 29: 717 – 728
- Perfect, E., B.D. Kay, W.K.P. van Loon, R.W. Sheard and T. Pojasok. 1990. Rates of change in soil structural stability under forages and corn. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 54: 179 – 186.
- Quirk, J.P. and R.K. Schofield. 1955. The Effect of electrolyte concentration on Soil permeability. *J. Soil Sci.* 6:163 – 178.
- Quirk, J.P. and R.S. Murray. 1991. Towards a model for soil structural behaviour. *Aust. J. Soil Res.* 29: 829 – 867.
- Rengasamy, P. 1983. Clay dispersion in relation to changes in the electrolyte composition of dialysed Red-Brown Earth. *J. Soil Sci.* 34: 723 – 732.
- Rengasamy, P., R.S.B. Greene and G.W. Ford. 1984. The role of clay fraction in the particle arrangement and stability of soil aggregates – a review. *Clay Res.* 3: 53 – 67.
- Russel, E.W., 1971. Soil structure: Its maintenance and improvement. *J. Soil Sci.* 22: 137 – 151.
- Saifuddin. 2000. *Degradasi Tanah Oleh Urea Dan Pengaruhnya Terhadap Produksi Tanaman Tomat* (Tesis). Program Pascasarjana Univ. Hasanuddin, Makassar.
- Samosir, S.S.R. 1994. *Kimia Tanah*. Jurusan Ilmu Tanah Fakultas Pertanian dan Kehutanan Univ. Hasanuddin, Ujung Pandang.
- Sapozhnikov, P.M., YE. B. Skvortsova, V.F. Utkayeva and V.N. Shchepot'yev. 1987. Physical properties and structure of the

- pore space of a grey forest soil under normalized load. *Soviet Soil Sci.* 2: 115 – 124.
- Shainberg, I. 1983. Effect of exchangeable sodium and electrolyte concentration on crust formation. *Adv. Soil Sci.* 1: 101 – 122.
- Shanmuganathan, R.T. and J.M. Oades. 1982. Influence of anions on dispersions and physical properties of the A horizon of a red-brown earth. *Aust. J. Soil Res.* 29: 257 – 277.
- Shimamura, K. 1992. Gas diffusion through compacted sands. *Soil Sci.* 4: 274 – 279.
- Soil Survey Staff. 1998. *Kunci Taksonomi Tanah*. Edisi Kedua Bahasa Indonesia, 1999. Pusat penelitian Tanah dan Agroklimat, Badan Litbang Pertanian, Bogor.
- SSSA. 1987. *Glossary of Soil Science Terms*. Soil Sci. Soc. of Amer. 677 South Segoe Road, Madison, USA.
- Stevenson, F.J. 1982. Clay organic complexes and formation of stable aggregates. *In: Stevenson (ed.) Humus Chemistry (Genesis, Composition, Reaction)*. John Wiley and Sons. Inc., New York.
- Suryani, I. 1999. *Perubahan Konduktivitas Hidraulik, Dispersi, pH, dan Daya Hantar Listrik Tanah Setelah Pemberian Urea dan Bahan Organik* (Tesis). Program Pascasarjana Univ. Hasanuddin, Makassar.
- Tan, K.H. 1992. *Principles of Soil Chemistry*. The Univ. of Georgia, Georgia.
- Tisdall, J.M. 1991. Fungal hyphae and structural stability of soil. *Aust. J. Soil Res.* 29: 729 – 743.
- Tisdall, J.M. and J.M. Oades. 1980. The effect of crop rotation on aggregation in a Red Brown Earth. *Aust. J. Soil Res.* 18: 423 – 434.
- , 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.* 33: 141 – 163.

- van Bavel, C.H.M. 1949. Mean weight diameter of soil aggregates as a statistical index of aggregation. *Soil Sci. Soc. of Amer. Proceedings* 14: 20 – 23.
- van Olphen, H. 1963. *An Introduction to Clay Chemistry*. Inter Science, New York.
- Warkentin, B.P. 1971. Effects of compaction on content and transmission of water in soils. *In*: K.K. Barnes et al. (eds.). *Compaction of Agricultural Soils*. Amer. Soc. of Agr. Engineers. St. Joseph, MI. p: 126 – 153.
- White, R.E. 1979. *Introduction to The Principles and Practice of Soil Science*. Blackwell, Oxford.
- Yong, R.N. and B.P. Warkentin. 1975. *Soil Properties and Behavior*. Development in Geotechnical Engineering 5. Elsevier, Amsterdam.

PROFIL PENULIS



Kaharuddin. Lahir di Galesong Utara Kab. Takalar 27 Maret 1970. Dosen tetap pada Politeknik Pembangunan Pertanian (Polbangtan) Gowa, Kementerian Pertanian. Menyelesaikan pendidikan S1 Jurusan Ilmu Tanah dari Universitas Hasanuddin tahun 1994, pendidikan S2 Sistem-sistem Pertanian, Konsentrasi Pengelolaan dan Pengembangan Sumberdaya Lahan dari Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin tahun 2003, dan pendidikan S3 Ilmu Pertanian, Konsentrasi Ilmu Tanah dari Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin tahun 2023. Selain mengampu matakuliah bidang Ilmu Tanah, Ia juga mengampu matakuliah Statistika Pertanian, Adaptasi dan Mitigasi Perubahan Iklim, Agrohidrologi, Metode Penelitian Penyuluhan Pertanian, Pemetaan Potensi Wilayah Pedesaan, dan Perencanaan Wilayah Pedesaan. Selain sebagai Dosen, juga aktif sebagai Assesor Fasilitator Pertanian Organik Tanaman BNSP sejak tahun 2015 sampai 2021. Pada Tahun 2014 memperoleh predikat Juara III pada Kegiatan Pengembangan Karya Ilmiah bagi Tenaga Pendidik (Guru dan Dosen) Kementerian Pertanian dan pada tahun 2017 memperoleh predikat Peringkat I Dosen Berprestasi Tingkat Nasional Kementerian Pertanian. Pada Oktober 2017 Ia mengikuti kegiatan *Apprenticeship Program for Lecturers of Agricultural Extension College on Agricultural Young Entrepreneur* di Kasetsart University, Bangkok–Thailand. Pada tahun 2019 Ia mengikuti TOM CSA (*Climate Smart Agriculture*, Pertanian Cerdas Iklim) di Balingtan-Pati, Ia juga mengikuti pelatihan Pendampingan Kewirausahaan dan Sertifikasi Kompetensi Pendamping Kewirausahaan yang dilaksanakan oleh Polbangtan Gowa dan BNSP-LSP Membiska pada tahun 2020, dan pada tahun 2022 mengikuti workshop penelitian terapan dasar dan sertifikasi penelitian terapan (CIAR) yang diselenggarakan oleh LP2M IPB-LSP Quantum HRM Internasional dan Polbangtan Gowa. Ia juga tercatat sebagai anggota organisasi profesi Masyarakat Penginderaan Jauh Indonesia (MAPIN), Perhimpunan Meteorologi Pertanian Indonesia (Perhimp) dan Perhimpunan Hortikultura Indonesia (Perhorti).



Ir. Dahlan, M.M. lahir di Takalala Sulawesi Selatan pada tanggal 2 Oktober 1964. Menyelesaikan Pendidikan Strata Satu (S1) di Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin pada tahun 1989. Pada tahun 2006 hingga sekarang menjadi Tenaga Fungsional di Sekolah Tinggi Penyuluhan Pertanian (STPP) Gowa yang kini berganti menjadi Politeknik Pembangunan Pertanian

Gowa. Penulis pernah mengikuti Pelatihan Metodologi untuk Guru dan Dosen di Pusat Pelatihan Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia Pertanian Ciawi Bogor tahun 2003, Pelatihan Mekanisasi Pertanian di Balai Besar Pelatihan Pertanian Batangkaluku Kabupaten Gowa tahun 2004, Pelatihan Pertanian Organik kerjasama Universitas Hasanuddin dengan Yayasan Mateppe Makassar tahun 2011, dan pertemuan Asosiasi Profesi Perlindungan Organisme Pengganggu Tanaman (POPT) di BALAI Besar Karantina Pertanian Makassar tahun 2011. Pada tahun 2013 telah menyelesaikan studi program Strata Dua (S2) Magister Manajemen di Univercity of Indonesia East Makassar.